

## **ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E SUBIDA DO NÍVEL DO MAR**

**Utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na  
Produção de Mapas de Vulnerabilidade para o Estuário do Tejo**

**João Pedro dos Santos Crisóstomo**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em  
**Arquitectura Paisagista**

Orientador: Maria Cristina da Fonseca Ataíde Castel-Branco Alarcão Júdice

### **Júri:**

Presidente: Doutor Luís Paulo Almeida Faria Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais:

Doutor José Manuel Henriques Simões, Professor Catedrático do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Doutora Maria Cristina da Fonseca Ataíde Castel-Branco Alarcão Júdice, Professora Associada com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

- Documento redigido sem o actual Acordo Ortográfico -

Este documento deverá ser citado como:

**Crisóstomo, J.** (2015): *Alterações Climáticas e Subida do Nível do Mar: Utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na Produção de Mapas de Vulnerabilidade para o Estuário do Tejo*.  
Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Portugal.



# AGRADECIMENTOS

A realização deste projecto marca o fim de uma importante etapa na minha vida preparando-me para o começo de outra. Gostaria de agradecer, de um modo global, a todos aqueles que contribuíram de forma decisiva para a sua concretização.

Agradeço especialmente à minha orientadora, Professora Doutora e Arquitecta Paisagista Cristina Castel-Branco, pelos conhecimentos transmitidos e por toda a disponibilidade, atenção, profissionalismo e dedicação que a acompanharam no decorrer deste projecto, um muito obrigado. O meu agradecimento também ao Centro de Ecologia Aplicada "Professor Baeta Neves" (CEABN) por me ter facultado o software necessário à realização deste projecto, o *ArcGIS 10.0*, por sua vez oferecido pela ESRI Portugal.

Agradeço ainda à equipa do atelier ACB paisagem e aos meus amigos, que estiveram presentes nos bons e nos maus momentos. Em especial à Luísa, a sua ajuda foi fundamental, e ao Jorge, pelo incentivo.

Por fim agradeço aos meus pais e irmã que me ajudaram ao longo deste percurso, apoiando-me sempre que necessário.

# RESUMO

Actualmente as alterações climáticas são uma realidade que não pode continuar a ser ignorada. Estas representam uma das principais ameaças para as zonas costeiras devido à subida do nível do mar, aumentando exponencialmente o risco de inundações permanentes para estes territórios e tornando-os vulneráveis. O presente projecto pretende demonstrar um método simples mas eficaz, em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permite uma visualização rápida, a uma escala regional, das áreas mais vulneráveis à inundação costeira permanente causada pela subida do nível do mar num futuro próximo. Para tal, foram estudadas as principais tendências climáticas e projecções para o final do séc. XXI que foram posteriormente utilizadas na criação de mapas de vulnerabilidade. A metodologia utilizada, através do software ArcGIS 10.0, para a criação destes mapas foi escolhida com base numa revisão literária e aplicada ao caso de estudo do estuário do Tejo utilizando um Modelo Digital de Terreno (MDT) e as respectivas projecções para o ano de 2100. Os mapas de vulnerabilidade foram, no final, exportados para um formato que permite a sua visualização na plataforma on-line Google Maps. Foi possível concluir que esta paisagem terá uma área total das suas margens bastante vulnerável (cerca de 13 641 ha para um aumento do nível do mar de 0,50 m e 19 049 ha para um aumento de 1,50 m), colocando em risco grande parte da população, assim como infra-estruturas e habitats naturais. Além disso, foi possível demonstrar a utilidade desta ferramenta em ordenamento do território e planeamento urbano futuros, verificando que projectos actuais ignoram completamente o factor das alterações climáticas.

## PALAVRAS-CHAVE

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS - SUBIDA DO NÍVEL DO MAR - MODELAÇÃO EM SIG  
MAPAS DE VULNERABILIDADE COSTEIRA - ESTUÁRIO DO TEJO

# ABSTRACT

The climate change is now a reality that can no longer be ignored. These represent one of the main threats for coastal zones due to sea level rise, increasing exponentially the risk of permanent inundation on these territories and making them vulnerable. This project aims to demonstrate a simple but efficient method of assessing the spatial extent of coastal zone inundation due to predicted sea level rise using commonly available elevation and image data as well as GIS software, allowing a quick view, on a regional scale, of the areas most vulnerable in the near future. For this, the main climate trends and projections for the end of the 21th century were studied and subsequently used to create maps of vulnerability. The method for the creation of these maps, used with the software ArcGIS 10.0, was chosen after a literature review and applied to the case study of the Tagus estuary using a Digital Terrain Model (DTM) and the projections of sea level rise for the year of 2100. The maps of vulnerability were, in the end, exported to a format that allows them to be viewed on the online platform Google Maps. It was possible to conclude that this landscape will have a total area of its margins quite affected by the new sea level (Approximately 13 641 ha for a sea level rise of 0.50 m and 19 049 ha for an increase of 1.50 m), putting at risk large part of the population, as well as infrastructure and natural habitats. Furthermore, it was possible to demonstrate the effectiveness of this tool in the field of future landscape and urban planning, verifying that current planning completely ignore the factor of climate change.

## KEYWORDS

CLIMATE CHANGE - SEA LEVEL RISE - GIS MODELING  
COASTAL ZONE VULNERABILITY MAPS - TAGUS ESTUARY

# EXTENDED ABSTRACT

The climate change is now a reality that can no longer be ignored. These represent one of the main threats for coastal zones due to sea level rise, increasing exponentially the risk of permanent inundation on these territories and making them vulnerable. This project aims to demonstrate a simple but efficient method of assessing the spatial extent of coastal zone inundation due to predicted sea level rise using commonly available elevation and image data as well as GIS software, allowing a quick view, on a regional scale, of the areas most vulnerable in the near future.

The Earth's climate system is suffering dramatic changes due to emissions of greenhouse gas (GHG) resulting from human activities. Has been found that there is a high probability of anthropogenic GHG emissions continue to increase in coming years, largely because of the dependence of the world economy on fossil fuels. Consequently the increase in global surface temperature will be worse over the twenty-first century. This increment in global surface temperature contributes for a sea level rise, not only because of the Ice melting, which is accelerated, but also the thermal expansion of the ocean. Here were studied the main climate trends and projections for the end of the twenty-first century.

Based on these trends, we found a method for the creation of vulnerability maps using the software ArcGIS 10.0. It was chosen after a literature review and applied to the case study of the Tagus estuary using a Digital Terrain Model (DTM) and the projections of sea level rise for the year of 2100. It was demonstrated that it is possible in a regional scale, modeling and visualizing the most vulnerable areas to flooding. This information can and should be used to define a scale of priorities for the implementation of more detailed assessments to coastal vulnerability in places with economic, ecological and cultural importance. The methodology was developed specifically at regional level; however you can scale the method for geographic areas of further approximation using different sets of high-resolution data. The use of GIS software also allows storing and processing the data and gives the user the ability to update or add other information layers, such as land use, local geology or river system, allowing better spatial cognition and contextualization of susceptible areas to flooding.

The Tagus estuary has a total area of 325 km<sup>2</sup> approximately, requiring therefore a methodology for a regional scale. This landscape hosts about ¼ of the Portuguese population in the towns along the river, where 60% of its banks is occupied by urban and industrial areas, in which also hosts the largest port in the country, becoming the center of intense economic activities such as marine traffic. The estuary

reveals a huge patrimonial wealth. It is a place of great socio-economic importance taking place since the age of the Discoveries, as evidenced by the countless architectural elements that flank the southern estuary margin. In this place there are also unique habitats of great floristic richness, such as saltmarshes, home to numerous species of birds.

After applying the method in the estuary and obtaining the vulnerability maps, it was possible to demonstrate the utility of this tool in identifying the most vulnerable areas, thus making it valuable material when used in the context of landscape and urban planning. Regarding the impact caused by a sea level rise in the near future, it was shown that a modest rise in sea level (e.g. 0.5 m here), by itself, will have little impact on coastal areas, however, when associated with the fickle nature of extreme events such as storms or sea waves that occur more frequently, this will be higher. Thus, the studies developed to calculate the impact caused by sea level rise need to consider these extreme events and not only the bathymetric change. Much of the population, residing mostly along the estuary banks, as well as the historical and cultural heritage and protected natural areas are at risk due to landscape changes caused by permanent coastal flooding and consequent extreme events. It was possible to conclude that this landscape will have a total area of its margins quite affected by the new sea level (Approximately 13 641 ha for a sea level rise of 0.50 m and 19 049 ha for an increase of 1.50 m).

It has been shown that the projects in the estuarine shore are still performed ignoring entirely the factor of sea level rise. This project highlights one of the processes that should be used in landscape and urban planning, especially in areas contiguous to the sea, however, this information is not usually available, and in most cases is discriminated by those responsible for mitigating the effects of local natural hazards. Despite the restrictions in the availability of spatial data resolution, the method can, through a quick and inexpensive procedure, perform an initial assessment of the potential risk of sea level rise, defining the most vulnerable areas in a region and avoiding the need for a more expensive and detailed study of this entire area.

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
EXTENDED ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	x
ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
GLOSSÁRIO DE TERMOS .....	xii
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	xvii
INTRODUÇÃO	
Pertinência do tema .....	1
Estrutura e Conteúdos .....	2
Estado da Arte .....	3
CAPÍTULO 1   O CENÁRIO	
As Alterações Climáticas .....	5
1.1. Causas, impactes e projecções.....	7
1.1.1. Subida do nível do mar .....	16
1.2. O clima em Portugal Continental .....	21
1.2.1. Zonas costeiras .....	23
CAPÍTULO 2   O CONHECIMENTO	
Metodologias de Modelação em SIG da subida do Nível do Mar .....	26

2.1. Revisão literária .....	27
CAPÍTULO 3   O SÍTIO	
Caso de Estudo: Estuário do Tejo .....	33
3.1. Caracterização do Estuário .....	34
3.1.1. Enquadramento geográfico .....	34
3.1.2. Morfologia do estuário .....	35
3.1.3. Ocupação da margem estuarina .....	36
3.2. Evolução Demográfica .....	38
3.3. Património .....	43
CAPÍTULO 4   O PROJECTO	
Produção de Cartas de Vulnerabilidade para o Estuário do Tejo .....	59
4.1. Dados .....	60
4.2. Método .....	62
4.3. Resultados e discussão .....	63
CONCLUSÕES .....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81
ANEXOS .....	87

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1   Efeito de estufa .....	8
Figura 1.2   Concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera nos últimos 800 mil anos .....	10
Figura 1.3   Temperatura global e dióxido de carbono .....	11
Figura 1.4   Multimodelo com simulação de séries temporais de 1950 a 2100 .....	14
Figura 1.5   Resultados médios para o período de 2081-2100 nos cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 .....	15
Figura 1.6   Observações da subida do nível do mar desde 1990 .....	17
Figura 1.7   Observação das variações acumuladas de massa dos mantos de gelo .....	18
Figura 1.8   Consequências das alterações climáticas sobre o litoral .....	24
Figura 3.1   Localização do Estuário do Tejo .....	34
Figura 3.2   Limites marginais e morfologia do Estuário do Tejo .....	36
Figura 3.3   Tipificação da ocupação antrópica na orla estuarina .....	38
Figura 3.4   Densidade populacional dos municípios que circundam o estuário do Tejo .....	42
Figura 3.5   Estaleiros do estuário do Tejo .....	46
Figura 3.6   Moinho de maré do Capitão, Seixal .....	49
Figura 3.7   Moinho de maré da Passagem, Seixal .....	49
Figura 3.8   Localização dos moinhos de maré do estuário do Tejo .....	51
Figura 3.9   RNET – Delimitação da Reserva Natural do Estuário do Tejo .....	53
Figura 3.10   ZPE – Delimitação da Zona de Protecção Especial .....	53
Figura 3.11   Localização dos sapais e praias no estuário interno do Tejo .....	55
Figura 3.12   Vista para o Seixal .....	56
Figura 3.13   Vista para Lisboa .....	58
Figura 4.1   Mapa de vulnerabilidade – Cenário A .....	65



Figura 4.2  Mapa de vulnerabilidade – Cenário B .....	66
Figura 4.3  Áreas mais vulneráveis e Património industrial .....	70
Figura 4.4  Localização dos projectos em análise .....	73
Figura 4.5  Sobreposição do mapa de vulnerabilidade com o espaço do EVOA .....	74
Figura 4.6  Centro de Artes e Tecnologia da Fundação EDP .....	75
Figura 4.7  Simulação 3D do Centro de Artes e Tecnologia da Fundação EDP .....	75
Figura 4.8  Sobreposição do mapa de vulnerabilidade com o espaço do Centro de Artes e Tecnologia da Fundação EDP .....	76
Figura 4.9  Modelo tridimensional do Plano de Urbanização da Quimiparque. ....	77
Figura 4.10  Simulação 3D do Plano de Urbanização da Quimiparque .....	77
Figura 4.11  Sobreposição do mapa de vulnerabilidade com o espaço do CAT Fundação EDP .....	78

# ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1   Projecções dos principais autores para a subida do nível médio do mar em 2100 .....	19
Gráfico 3.1  Evolução da população dos municípios da AML (Margem norte) .....	41
Gráfico 3.2  Evolução da população dos municípios da AML (Margem Sul) .....	41
Gráfico 4.1  Percentagem de território total inundado para todos os cenários projectados .....	67
Gráfico 4.2  Percentagem de território inundado para os cenários A e B .....	67

# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1   Classes de ocupação da margem estuarina .....	37
Tabela 3.2   Evolução demográfica dos municípios de interface com o estuário do Tejo .....	40
Tabela 3.3   Inventário dos moinhos de maré do estuário do Tejo .....	50
Tabela 4.1   Projeções da subida do Nível Médio do Mar (NMM) para 2100 .....	61
Tabela 4.2   Área (em ha) do território inundado de cada município nos diferentes cenários .....	64

# GLOSSÁRIO DE TERMOS

**Aerossol.** Suspensão de partículas sólidas ou líquidas transportadas pelo ar, com uma dimensão típica entre alguns nanómetros a 10 µm, que residem na atmosfera durante pelo menos várias horas. O termo aerossol inclui tanto as partículas como os gases de suspensão. Os aerossóis podem ser de origem natural ou antrópica. Estes podem influenciar o clima directamente, através da dispersão e absorção de radiação, e indirectamente, actuando como núcleos de condensação de nuvens ou núcleos de gelo, modificando as propriedades e vida das nuvens (IPCC, 2013a).

**Albedo.** Representa a fracção da radiação solar reflectida por uma superfície ou objecto, muitas vezes expressa em percentagem. O albedo dos solos varia de alto a baixo. Superfícies cobertas de neve tem um albedo elevado enquanto superfícies cobertas de vegetação e oceanos apresentam um albedo baixo. O Albedo planetário da Terra varia principalmente através da nebulosidade variável, neve, gelo, área foliar e mudanças na cobertura do solo (IPCC, 2013a).

**Alterações climáticas.** Refere-se a uma alteração no estado do clima, que pode ser identificada por mudanças no valor médio e/ou pela variabilidade das suas propriedades, e que persiste por um período de anos prolongado, tipicamente décadas ou mais. As alterações climáticas podem ser devido a processos naturais internos ou forças externas, tais como modulações dos ciclos solares, erupções vulcânicas e alterações antrópicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso do solo. (IPCC, 2013a).

**Alteração do nível do mar.** O nível do mar pode mudar, tanto global como localmente, devido a (1) mudanças no formato das bacias oceânicas, (2) alterações no volume do oceano como resultado de uma alteração na massa de água no oceano, e (3) alterações no volume do oceano como resultado de

alterações na densidade da água do oceano (IPCC, 2013a).

**Antropogénico** ou **Antrópico.** Resultante de ou produzido por actividades humanas (Santos *et al.*, 2002).

**Atmosfera.** A camada gasosa que envolve a Terra. A atmosfera seca é composta quase inteiramente de nitrogénio (78,1 %) e oxigénio (20,9 %) em conjunto com uma série de gases, como argónio, hélio e gases radiactivamente activos com efeito de estufa tais como o dióxido de carbono e ozono. Além disso, a atmosfera contém também vapor de água, nuvens e aerossóis (IPCC, 2013a).

**Baixa-Mar.** Altura de maré mínima registada após o período de vazante (Instituto Hidrográfico, 2015).

**Baixa-Mar de Águas Mortas.** É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas baixamares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é menor (próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante) (Instituto Hidrográfico, 2015).

**Baixa-Mar de Águas Vivas.** É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas baixamares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é maior (Próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia) (Instituto Hidrográfico, 2015).

**Balanço de energia.** Diferença entre a energia total recebida e a energia total reflectida. Se este balanço for positivo ocorre um aquecimento da atmosfera, se for negativo, ocorre um arrefecimento. É um valor médio calculado durante longos períodos de tempo para todo o planeta, que para estar em equilíbrio deverá ser zero. Uma vez que o sistema climático da Terra deriva praticamente toda a sua energia a partir do sol, um balanço igual a zero

implica que, globalmente, a radiação solar absorvida (ou seja, a radiação solar recebida menos a radiação solar reflectida na parte superior da atmosfera) e a radiação infravermelha emitida pelo sistema climático são iguais (IPCC, 2013a).

**Camada de ozono.** Camada da estratosfera onde a concentração de ozono é maior. Esta estende-se desde cerca de 12 a 40 km acima da superfície da Terra. Todos os anos, durante a primavera do hemisfério sul, uma forte redução da camada de ozono ocorre sobre a Antártida, causada por compostos antrópicos de cloro e bromo em combinação com as condições meteorológicas específicas daquela região. Este fenómeno é chamado de buraco do ozono (IPCC, 2013a).

**Cenário climático.** A representação plausível e muitas vezes simplificada do clima futuro, com base num conjunto internamente consistente de relações climatológicas que foi construído para uso explícito em investigar as possíveis consequências da alteração climática antropogénica, servindo muitas vezes como entrada para impactar modelos. As projecções climáticas servem muitas vezes como matéria-prima para a construção dos cenários climáticos, mas estes cenários geralmente exigem informações adicionais, tais como o clima actual observado (IPCC, 2013a).

**Cenário de emissões.** Representação plausível da evolução futura das emissões de substâncias potencialmente radiactivas (e.g. gases com efeito de estufa, aerossóis) com base num conjunto coerente e internamente consistente de suposições sobre as forças condutoras (como o desenvolvimento demográfico e socioeconómico, a mudança tecnológica) e as suas relações-chave. Os cenários de concentração, derivados de cenários de emissões, são utilizados como *input* num modelo climático para calcular as projecções climáticas (IPCC, 2013a).

**Cheia.** Fenómeno hidrológico extremo, natural ou induzido pela acção humana, que consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito original, originando a inundação das margens (Ramos, 2007; Oliveira, 2013).

**Ciclos glacial-interglacial.** Fase da história da Terra, marcada por grandes mudanças no volume de gelo continental e no nível global do mar (IPCC, 2013a).

**Circulação geral.** Os movimentos em grande escala da atmosfera e do oceano como consequência de um aquecimento diferencial num planeta Terra em rotação. A circulação geral contribui para o equilíbrio energético do sistema através do transporte de calor e *momentum* (IPCC, 2013a).

**Clima.** Clima em sentido restrito é geralmente definido como o tempo médio, ou mais rigorosamente, como a descrição estatística em termos da média e variabilidade das quantidades relevantes ao longo de um período de tempo que varia desde meses a milhares ou de milhões de anos. O período clássico para obter a média dessas variáveis é de 30 anos, tal como definido pela Organização Meteorológica Mundial. As quantidades relevantes são na maioria das vezes variáveis da superfície como temperatura, precipitação e vento. O clima num sentido mais amplo é o estado, incluindo uma descrição estatística, do sistema climático (IPCC, 2013a).

**Confiança.** A validade de uma conclusão com base no tipo, quantidade, qualidade e consistência das provas (e.g. o entendimento mecanicista, teoria, dados, modelos, pareceres de peritos) e sobre o grau de concordância. A confiança é expressa qualitativamente (IPCC, 2013a).

**Desglaciação** (do inglês: *Deglaciation*). Transição de uma condição de glaciais completos (idade de gelo) para períodos interglaciais mais quentes caracterizados pelo aquecimento global e aumento do nível do mar devido à mudança de volume de gelo continental (IPCC, 2013a).

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).** É um gás que ocorre naturalmente mas também um subproduto da queima de combustíveis fósseis a partir de depósitos de carbono fósseis, como o petróleo, gás e carvão, da queima de biomassa, do uso da terra e mudanças de processos industriais (por exemplo produção de cimento). É o principal gás com efeito de estufa de origem antropogénica que afecta o equilíbrio radiactivo da Terra (IPCC, 2013a).

**Efeito de estufa (EE).** Processo que ocorre quando parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera. Gases com efeito de estufa (GEE), nuvens e (em menor escala) aerossóis absorvem a radiação emitida pela superfície da

Terra e atmosfera. Por sua vez estas substâncias emitem radiação infravermelha em todas as direcções, sendo parte do calor absorvido pela superfície terrestre em vez de ser libertado para o espaço. O Efeito de Estufa é um processo que ocorre naturalmente para que a Terra se mantenha aquecida e seja possível existir vida, contudo, o aumento da concentração de alguns gases com efeito de estufa (por emissões antrópicas) contribui para um forçamento radioactivo instantâneo (IPCC, 2013a).

**Emissividade.** Consiste na razão entre a potência por unidade de área de uma superfície irradiada e a que é irradiada por um corpo negro à mesma temperatura. Assim, um corpo negro possui uma emissividade de 1, e um reflector perfeito possui uma emissividade de zero. A emissividade de uma superfície é igual à sua absorvência (Dicionário Editora da Língua Portuguesa 2014).

**Expansão térmica.** Relacionada com o nível do mar, esta refere-se ao aumento de volume (e diminuição da densidade) que resulta do aquecimento da água. O aquecimento do oceano leva a uma expansão do volume do mesmo, e consequentemente, um aumento no nível do mar (IPCC, 2013a).

**Forçamento externo** (do inglês: *External forcing*). Refere-se a uma força externa no sistema climático que causa uma alteração no mesmo. Erupções vulcânicas, variações solares e alterações antrópicas na composição da atmosfera e na alteração do uso do solo são forças externas (IPCC, 2013a).

**Forçamento radiactivo** (do inglês: *Radiative forcing*). Nome dado à perturbação energética radiactiva de um agente que force o aparecimento de um desequilíbrio no balanço da energia incidente e da energia emergente do planeta Terra. É expresso em  $W/m^2$  (IPCC, 2013a).

**Gases com efeito de estufa (GEE).** São os constituintes gasosos da atmosfera, naturais e antrópicos, que absorvem e emitem radiação de e para a superfície da Terra, atmosfera e nuvens. Esta propriedade dá origem ao efeito de estufa. O vapor de água ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), óxido nítrico ( $N_2O$ ), metano ( $CH_4$ ) e ozono ( $O_3$ ) são os principais gases com efeito de estufa na atmosfera da Terra (IPCC, 2013a).

**Glaciar.** Massa enorme de gelo terrestre que se origina pela acumulação de neve em bacias de recepção situadas no limite das neves permanentes, e que desliza vagarosamente segundo o declive do terreno, sendo alimentada pelos ventos marinhos carregados de vapor de água. Uma massa de gelo da mesma origem que os glaciares, mas de tamanho continental, é denominada por camada/manto de gelo (IPCC, 2013a). Por uma questão de simplicidade, neste documento, todas as massas de gelo serão referidas como glaciares à excepção das camadas de gelo.

**Idade do Gelo.** Idade do gelo ou período glacial é caracterizado por uma redução a longo prazo na temperatura do clima da Terra, resultando no crescimento de camadas de gelo e glaciares (IPCC, 2013a).

**Incerteza.** Expressão do nível de desconhecimento em relação a um valor ou acontecimento. Pode resultar da falta de informação, do desacordo sobre o conhecimento das causas ou da impossibilidade do seu conhecimento (IPCC, 2013a).

**Insolação.** A quantidade de radiação solar que atinge a Terra pela latitude e pela temporada medido em  $W/m^2$ . Normalmente insolação refere-se à radiação que atinge o topo da atmosfera. Contudo, é por vezes especificada como referindo-se à radiação que atinge a superfície da Terra (IPCC, 2013a).

**Interglacial.** Período interglacial ou interglaciação é o intervalo geológico caracterizado por temperaturas médias mais quentes que ocorre entre glaciações da idade do gelo. Muitas vezes definem-se como os períodos em que os níveis do mar se encontravam semelhantes ao do nível do mar actual. Actualmente estamos a viver o que pode ser considerado um período interglacial (Holocénico) que permanece desde há cerca de 11400 anos (IPCC, 2013a).

**Inundação.** Submersão de uma superfície por água. Distinto de cheia pela origem do fenómeno, que não está obrigatoriamente relacionado com o transbordo da linha de água. A inundação pode ser atribuída a fenómenos fluviais, marítimos, climatológicos, antrópicos, hidrogeológicos, entre outros (Ramos, 2007; Oliveira, 2013).

**Inundação costeira.** Fenómeno gerado pela subida temporária do nível do mar acima da amplitude normal da maré devido à ocorrência em simultâneo ou pontualmente de sobrelevação marítima, ondas, ventos ou *tsunamis*, levando ao galgamento da linha de costa e à inundação de zonas geralmente secas. A inundação costeira pode ocorrer num rio ou estuário, distingue-se da inundação fluvial uma vez que esta resulta maioritariamente da precipitação (Oliveira, 2013).

**Inundação fluvial.** Fenómeno gerado pela ocorrência de precipitação prolongada durante vários dias ou semanas, por fenómenos intensos durante um curto período de tempo (dias), resultando no alagamento das áreas circundantes, geralmente emersas, afectando a ocupação e actividade humana. A inundação fluvial pode ainda resultar da falha de uma estrutura de controlo da água, tal como um dique ou barragem (Oliveira, 2013).

**Inundações urbanas.** Resultam de eventos de precipitação intensa e da insuficiência do sistema de drenagem artificial para escoar o caudal gerado, passando o excesso de água a circular pela superfície até às cotas inferiores. São exacerbadas pela impermeabilização ou saturação do solo, pelo subdimensionamento do sistema de drenagem ou pela sua perda de eficiência quando o ponto de descarga se encontra obstruído por um corpo de água (mar, rio, lago, etc.) (Oliveira, 2013).

**Marés Mortas (ou Águas Mortas).** São as marés de amplitude mais reduzida que ocorrem próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante, quando as forças atractivas devidas ao Sol e à Lua se cancelam mutuamente (Instituto Hidrográfico, 2015).

**Marés Vivas (ou Águas Vivas).** São as marés de maior amplitude que ocorrem próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia, quando as forças atractivas devidas ao Sol e à Lua se reforçam mutuamente (Instituto Hidrográfico, 2015).

**Manto/camada de gelo.** Grande massa de gelo terrestre de tamanho continental, própria das regiões polares, que é suficientemente espessa para cobrir a maior parte do leito subjacente. Apesar da superfície ser fria, a base de um manto de gelo é geralmente mais quente. Em alguns pontos o gelo derrete e a água produzida funciona como

lubrificante do manto de gelo fazendo com este se desloque mais rapidamente. Este processo produz canais de fluxo rápido dentro do manto de gelo designando-se correntes de gelo. Actualmente existem apenas dois mantos de gelo, um na Antárctida e outro na Gronelândia (IPCC, 2013a).

**Modelo Climático.** Modelo climático. Simulação das interacções da atmosfera, oceanos, superfícies continentais e massas de gelo através de métodos quantitativos do sistema climático baseados em propriedades físicas, químicas e biológicas. Os modelos climáticos são aplicados como uma ferramenta de pesquisa para estudar e simular o clima e para fins operacionais, incluindo previsões climáticas mensais, sazonais e interanuais (IPCC, 2013a).

**Modelo de Circulação Geral (MCG).** Ver *modelo climático*.

**Modelo Digital de Terreno (DTM).** Representação de uma superfície baseada num conjunto de coordenadas X, Y e Z. As coordenadas Z representam valores da altitude e profundidade num modelo tridimensional que contenha o atributo elevação (Camara Municipal do Montijo, 2015).

**Nível médio do mar (NMM).** Nível da superfície do oceano num determinado ponto, em média, durante um período prolongado de tempo, como um mês ou ano (Oliveira, 2013).

**Nível Médio (NM).** É o valor médio das alturas horárias da maré, relativamente a um nível de referência fixo (e.g. marca de nivelamento), resultante de séries de observações maregráficas de duração variável, de preferência igual ou superior a 19 anos, de forma a englobar pelo menos um ciclo completo de revolução dos nodos da órbita lunar. O nível médio varia de local para local (Instituto Hidrográfico, 2015).

**Orçamento de Energia (da Terra)** (do inglês: *Energy budget*). A Terra é um sistema físico com um orçamento de energia que inclui todos os ganhos de energia recebida e todas as perdas de energia reflectida. O orçamento de energia é determinado medindo a quantidade de energia recebida a partir do sol no sistema Terrestre, a quantidade de energia perdida para o espaço, e a contabilização da

restante energia na Terra e na sua atmosfera. A radiação solar é a principal fonte de energia para o sistema Terrestre. A energia solar incidente pode ser dispersa e reflectida por nuvens e aerossóis ou absorvida na atmosfera (IPCC, 2013a).

**Ozono.** A forma triatómica do oxigénio ( $O_3$ ). É um constituinte gasoso da atmosfera. Na troposfera é criado naturalmente ou por reacções fotoquímicas envolvendo gases resultantes de actividades humanas (poluição atmosférica), actuando como um gás com efeito de estufa. Na estratosfera, este é criado pela interacção entre a radiação solar ultravioleta e oxigénio molecular ( $O_2$ ). O ozono estratosférico desempenha um papel dominante no balanço radiactivo estratosférico. A sua concentração é maior na camada de ozono (IPCC, 2013a).

**Preia-Mar.** Altura de maré máxima registada após o período de enchente (Instituto Hidrográfico, 2015).

**Preia-Mar de Águas Mortas.** É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas preia-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é menor (próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante) (Instituto Hidrográfico, 2015).

**Preia-Mar de Águas-Vivas.** É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas preia-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é maior (Próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia) (Instituto Hidrográfico, 2015).

**Previsão do clima.** A previsão do clima ou previsão climática é o resultado de uma tentativa de produzir (a partir de um determinado estado do sistema climático) uma estimativa da evolução real do clima no futuro, por exemplo, em escalas de tempo sazonais, interanuais ou decenais. Uma vez que a evolução futura do sistema climático pode ser altamente sensível às condições iniciais, tais previsões são geralmente de natureza probabilística (IPCC, 2013a).

**Proiecção do Clima.** A projecção climática é a resposta simulada do sistema climático a um cenário de emissão ou de concentração de gases com efeito de estufa e aerossóis, geralmente derivados usando modelos climáticos futuros. As projecções climáticas são distintas de previsões climáticas uma vez que as primeiras dependem da emissão, concentração e/ou cenário de forçamento radiactivo considerado, o que por sua vez é baseado em suposições relativas, como por exemplo futuros desenvolvimentos tecnológicos e socioeconómicos que podem ou não ser realizados (IPCC, 2013a).

**Radiação solar.** A radiação electromagnética emitida pelo sol com um espectro próximo ao de um corpo negro com uma temperatura de 5770 K. Quando comparado com a radiação terrestre, é muitas vezes referida como a radiação de ondas curtas (IPCC, 2013a).

**Representative Concentration Pathways (RCP).** Cenários que incluem séries temporais de emissões e concentrações do conjunto completo de gases com efeito de estufa, aerossóis e gases quimicamente activos assim como o uso e/ou cobertura do solo (IPCC, 2013a).

**Série temporal.** Uma série temporal é um conjunto de observações feitas sequencialmente em intervalos regulares ao longo de um período de tempo. A ordem dos dados é fundamental. Uma característica muito importante deste tipo de dados é que as observações vizinhas são dependentes sendo que o interesse é analisar e modelar esta dependência (Dicionário Editora da Língua Portuguesa 2014).

**Zero Hidrográfico.** Superfície em relação à qual são referidas as sondas e as linhas isobatimétricas das cartas náuticas, bem como as previsões de altura de maré que são publicadas nas Tabelas de Marés do Instituto Hidrográfico. Nas cartas portuguesas, o ZH. fica situado abaixo do nível da maré astronómica mais baixa, pelo que as previsões de altura de maré são sempre positivas (Instituto Hidrográfico, 2015).



# LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

AR4	Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas.
AR5	Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas.
MDT	Modelo Digital de Terreno ( <i>Digital Terrain Model</i> ).
EF	Efeito de Estufa.
GCMs	Modelos de Circulação Geral ( <i>General Circulation Models</i> ).
GEE	Gases com Efeito de Estufa.
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
IEA	Agencia Internacional de Energia ( <i>International Energy Agency</i> ).
IGP	Instituto Geográfico Português.
IPCC	Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> ).
NAO	Oscilação do Atlântico Norte ( <i>North Atlantic Oscillation</i> ).
NMM	Nível Médio do Mar.
ONU	Organização das Nações Unidas.
RCPs	<i>Representative Concentration Pathways</i> .
SIG	Sistemas de Informação Geográfica.
SNMM	Subida do Nível Médio do Mar.
SNM	Subida do Nível do Mar.
TAR	Terceiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas.

# INTRODUÇÃO

## *Pertinência do tema*

Hoje é já bastante aceite a certeza de que nos próximos anos o nível médio do mar irá subir, consequência directa das alterações climáticas que se tem vindo a manifestar nas últimas décadas. De acordo com o mais recente relatório do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, 2013) as projecções de subida do nível global do mar para o séc. XXI situam-se aproximadamente entre 0,25 m e 1 m, dependendo do cenário de emissões, mas todos com um aumento acelerado a acontecer no final do século. O mesmo relatório afirma que cerca de metade da população mundial reside em zonas costeiras, logo, será afectada. Baseando-se nas estimativas de subida do nível do mar para os finais do séc. XXI, Nicholls (2002) examina a população mundial que seria afectada e prevê um limite máximo de quase 400 milhões de pessoas, para um aumento do nível do mar de apenas de 0,55 m. A subida do nível do mar é um problema significativo que não pode ser ignorado tendo implicações políticas em termos de planeamento para uma adaptação a estas transformações.

Como efeito directo da subida do nível do mar as zonas costeiras de baixa altitude encontram-se sujeitas a inundações com impactes físicos, biológicos e socioeconómicos potencialmente elevados para a actual sociedade. A subida do nível do mar pode afectar as áreas costeiras de inúmeras formas, tais como a inundação permanente e respectivo deslocamento de terras baixas e zonas húmidas; a erosão da linha costeira; a intensificação de eventos extremos de tempestade; e alteração no nível do mar, que por sua vez ameaçam os aquíferos de água doce devido ao aumento da salinidade nos lençóis freáticos. Além destes, o escoamento costeiro será cada vez mais difícil, tanto pelos eventos de tempestade mais recorrentes como também devido a um nível do mar mais alto, aumentando a duração das inundações e consequentemente a quantidade de água acumulada nas zonas baixas.

O estudo do estuário do Tejo tem um interesse particular nesta matéria uma vez que as suas margens acolhem ¼ da população portuguesa assim como alberga o maior porto do país tornando-se o centro de intensas actividades económicas como o tráfego marinho. A subida do nível médio do mar afectará directamente os municípios da margem do estuário e o leito, onde se inclui o Parque Natural do Estuário do Tejo e a respectiva Zona de Protecção Especial.

No presente projecto são mapeadas as áreas de risco de inundação permanente no estuário do Tejo utilizando as tecnologias dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para criar diferentes mapas de vulnerabilidade. Os cenários de inundação considerados para a criação dos mapas utilizam projecções da subida do nível do mar para o final do séc. XXI. Cada cenário de inundações é analisado em termos de sua extensão espacial e da área afectada em cada município. Esta informação é usada aqui como uma "visualização rápida" com o objectivo de identificar as áreas mais vulneráveis dentro da paisagem em estudo uma vez que o projecto é desenvolvido a uma escala regional. Actualmente existe uma directiva Europeia (2007/60/EC) que obriga os seus estados membros a desenvolverem mapas de inundação para as áreas em risco de forma a que comecem a conhecer os efeitos desta subida na paisagem.

Assim, a elaboração deste projecto orientou-se de acordo com os seguintes objectivos:

- » Compreender o funcionamento global do sistema climático da Terra e de que forma este será alterado, quais os factores responsáveis por essa alteração e quais as projecções de mudança para o futuro;
- » Analisar, na literatura actual, as metodologias de mapeamento em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) relativas à subida do nível do mar e tentar encontrar aquela que melhor se adapta ao caso de estudo;
- » Estudar qual a importância socioeconómica e valor patrimonial do estuário do Tejo;
- » Aplicar a metodologia estudada ao estuário de forma a obter os respectivos mapas de vulnerabilidade e discutir a utilidade e vantagens desta ferramenta com alguns exemplos.

### *Estrutura e conteúdos*

Para atingir os objectivos do projecto, este desenvolve-se ao longo de quatro capítulos fundamentais, onde é feita uma síntese de diversos campos de investigação. Neste caso, o presente projecto estrutura-se da seguinte forma:

No primeiro capítulo é elaborada uma revisão bibliográfica sobre as alterações climáticas e a subida do nível do mar, abordando quais as principais causas e formas de actuação. Revendo o que de mais recente tem sido escrito sobre as causas que estão na base de todo o processo de subida do nível do mar e de que maneiras poderão ser reduzidas as suas consequências. São também discutidas as tendências climáticas e respectivas projecções para o período correspondente ao ano de 2100. É ainda abordado, de forma breve num subcapítulo, o clima de Portugal continental e as respectivas tendências climáticas, estudadas por especialistas, para o país.

No Capítulo 2 são avaliadas e discutidas algumas das principais metodologias de mapeamento em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) relativas à subida do nível do mar e respectiva visualização gráfica. Pretende-se rever a literatura actual e procurar o método que melhor se adapta ao caso de estudo tendo em conta as suas características específicas.

No capítulo 3 é feita a apresentação do caso de estudo: o estuário do Tejo. Faz-se uma breve descrição do contexto histórico e dos elementos mais importantes tais como o enquadramento geográfico, a morfologia, a ocupação das margens do estuário, a evolução demográfica e o património, tanto cultural como natural, mais significativo e caracterizador do estuário.

O último capítulo consiste na aplicação da metodologia escolhida ao caso de estudo de forma a obter as áreas de inundação do estuário do Tejo de acordo com diferentes cenários apresentados. Começa-se por listar quais os dados utilizados, seguindo-se a descrição passo-a-passo do método. Depois é mostrado o resultado, ou seja os mapas de vulnerabilidade, e posterior discussão dos mesmos.

### *Estado da Arte*

Presentemente têm sido desenvolvidos vários estudos quanto à visualização de áreas inundadas devido à subida do nível do mar. Muitos destes avaliam a vulnerabilidade costeira utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG), no entanto, grande parte tem recorrido a dados muito detalhados e precisos, como dados topográficos de alta resolução, registos de inundações causadas por tempestades ou perfis costeiros detalhados. Como resultado, esses estudos são geralmente dispendiosos, demorados, e cobrem apenas áreas localizadas, muitas vezes de particular interesse económico. Embora a importância dos estudos localizados permaneça para este tipo de áreas, existe a necessidade de técnicas adequadas para avaliar, a uma escala regional (na ordem de centenas de quilómetros), a vulnerabilidade costeira face aos impactes das alterações climáticas sem necessitar de intensivos requisitos de dados. As avaliações regionais são necessárias para que as áreas vulneráveis à subida do nível do mar possam ser identificadas dentro das regiões costeiras e assim definir as áreas prioritárias aos estudos de gestão e planeamento.

Em Portugal os projectos realizados no âmbito da avaliação da susceptibilidade costeira são semelhantes aos praticados em restantes áreas do globo, desenvolvendo-se numa escala local, sobre áreas de menor dimensão. Existem actualmente alguns estudos centrados no Estuário do Tejo e na sua capacidade de resposta face às alterações climáticas recentes.

O professor João Pedro Costa<sup>1</sup>, segundo uma abordagem do ponto de vista arquitectónico e urbanista, desenvolve diversos projectos de adaptação às alterações climáticas em algumas das frentes-rio urbanas do estuário do Tejo. Segundo o próprio, *“a partir do momento em que há, cada vez com mais segurança, cenários de alteração do clima disponíveis, o urbanismo e o ordenamento do território já não podem fechar os olhos e é sua missão aproximar-se das alterações climáticas”* (FAUL, 2013). Neste contexto não são desenvolvidos mapas de vulnerabilidade, contudo, é estudado de forma cuidada o avanço do mar no território e criadas estratégias de adaptação ao novo nível do mar.

Vargas *et al.* (2012) propõe uma metodologia de mapeamento de susceptibilidade ao avanço do mar em zonas costeiras e aplica-a em dois casos de estudo: a Costa da Caparica, na Área Metropolitana de Lisboa; e Quarteira, na costa sul do Algarve. Este estudo inclui-se no projecto CHANGE<sup>2</sup> onde Schmidt *et al.* (2012), além dos dois casos de estudo anteriormente referidos, aplica a mesma metodologia em Vagueira, na região de Aveiro, obtendo mapas de vulnerabilidade costeira para estas três zonas.

Segundo uma metodologia semelhante, o Projecto MorFeed<sup>3</sup> estuda a resposta morfológica das margens do estuário face ao impacto das alterações climáticas, determinando a susceptibilidade à inundação das margens da baía do Seixal (Rilo *et al.*, 2014) e desenvolvendo mapas de vulnerabilidade apenas para essa zona, contudo, os restantes estudos deste projecto englobam a paisagem total do estuário do Tejo.

O interesse em desenvolver mapas de vulnerabilidade costeira para a paisagem do estuário do Tejo deve-se à sua importância socioeconómica, cultural e natural. É preciso perceber quais as zonas mais susceptíveis ao regime de inundação permanente, uma vez que poderão constituir uma ameaça de risco para a população, infra-estruturas e meio ambiente. No contexto deste projecto, a metodologia escolhida foi a de Kuhn *et al.* (2011). O seu método permite a modelação em SIG para a delimitação de áreas susceptíveis à inundação costeira utilizando apenas dados de acesso inteligível, obtidos *on-line* e de forma gratuita. Devido à dimensão da área de estudo e da disponibilidade de dados de informação geográfica, foi importante encontrar um método eficaz que não exigisse bases topográficas de alta resolução e pudesse ser executado a uma escala regional.

---

<sup>1</sup> João Pedro Costa é Arquitecto (FA-UTL, 1993), Mestre em Cultura Arquitectónica Contemporânea (FA-UTL, 1998) e Doutor em Urbanismo (Escola Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, UPC, 2007). Desenvolve actividade de investigação científica, nacional e internacional, coordenando e participando em vários projectos, nas seguintes áreas de interesse: frentes rio, adaptação a alterações climáticas, reabilitação urbana, políticas urbanas e ordenamento do território.

<sup>2</sup> CHANGE: *Mudanças Climáticas, Costeiras e Sociais*. Projecto de investigação desenvolvido sob coordenação geral de Luísa Schmidt no Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa, em colaboração com uma equipa de investigação da Faculdade de Ciências. Financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/CS-SOC/100376/2008).

<sup>3</sup> MorFeed - *Resposta morfológica das margens estuarinas ao impacto das alterações climáticas*. Projecto de investigação desenvolvido sob coordenação de Paula Freire pelo Laboratório Nacional De Engenharia Civil e Faculdade de Ciências. Financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/AAC-AMB/100092/2008).

# CAPÍTULO 1

## O CENÁRIO

### AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

As alterações climáticas desde há muito tempo que deixaram de ser apenas uma curiosidade científica. Segundo Ban Ki-moon, Secretário-geral da Organização das Nações Unidas (ONU), a alteração do clima é a principal questão ambiental da actualidade e o único grande desafio que se coloca aos órgãos reguladores ambientais. No seu comunicado à imprensa sobre a alteração climática, este acrescenta que esta *“não é uma ameaça distante. Está a chegar e a aproximar-se muito, muito mais rápido do que podemos pensar [...] É preciso investir mais dinheiro na economia verde de amanhã. É preciso colocar um preço no carbono e poluição. E é preciso fortalecer a resiliência face às mudanças que virão”* (UNNS, 2015).

Os conceitos de tempo meteorológico e clima diferem entre si. O tempo atua num prazo curto, podendo mudar de hora para hora ou de dia para dia e assume um comportamento caótico pois qualquer perturbação microscópica pode levar a enormes mudanças. É por isso que uma previsão de tempo para um longo período de dias se torna inútil. Uma borboleta bate as asas em Bali e seis semanas depois dá-se uma tempestade no Maine (Sagan *et al.*, 2014). O tempo refere-se ao estado momentâneo que ocorre num determinado local a partir do ar atmosférico e que pode ocorrer de maneira lenta ou rápida (IPCC, 2013a). O clima é caracterizado por uma média a longo prazo (mínimo de 30 anos) do tempo, refere-se ao conjunto de condições atmosféricas que ocorrem em determinados locais de forma relevante. Molda-se por forças globais que alteram o balanço de energia da atmosfera, como as mudanças no Sol, a inclinação do eixo da Terra, a quantidade de luz Solar que a Terra reflecte para o espaço e a concentração de gases de efeito estufa no ar (IPCC, 2013a; EEA, 2014). Uma mudança em qualquer um destes factores irá afectar o clima de forma previsível.

As alterações climáticas *“correspondem a uma variação estatística significativa das médias que caracterizam o clima e/ou das suas variabilidades”* (Santos *et al.*, 2002) e representam uma crise crescente com diversos impactes para o desenvolvimento económico, saúde e saneamento, produção de alimentos, segurança, entre outros. As alterações dos padrões climáticos ameaçam, por exemplo, a produção de alimentos através do aumento da imprevisibilidade da precipitação, o aumento do nível do mar pode contaminar reservas de água doce no litoral assim como aumenta o risco de inundações catastróficas, e uma atmosfera mais quente auxilia a propagação de pragas e doenças, antes limitadas

apenas aos trópicos. O cenário até ao momento é de mudança real e rápida e tende a ser cada vez pior. A perda de gelo dos glaciares polares tem continuado a aumentar, nomeadamente na Gronelândia e na Antárctida. Combinada com a expansão térmica do oceano - a água quente ocupa mais volume do que a fria - a descongelação das camadas de gelo e glaciares polares do planeta está a contribuir para uma extensão final do aumento do nível do mar com valores bastante elevados (IPCC, 2013b; UNEP, 2014). Há evidências alarmantes que podem já ter sido atingidos ou ultrapassados pontos de ruptura essenciais, levando a alterações irreversíveis nos principais ecossistemas e no sistema climático da Terra (Peters *et al.*, 2013; UNEP, 2014).

As causas destas alterações no clima podem acontecer devido a processos naturais ou antropogénicos, nomeadamente pela alteração da composição atmosférica, contudo a causa mais significativa é proveniente da acção humana devido à emissão e consequente aumento de gases com efeito de estufa (GEE) (IPCC, 2013b). Segundo o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC<sup>4</sup>) as mudanças no clima mais graves ainda poderão ser evitadas se se transformar o nosso sistema de energia (dependente dos combustíveis fósseis) e se forem iniciados programas de adaptação, adequados a cada caso, de forma a evitar desastres ecológicos e transformações na paisagem a escalas sem precedentes (IPCC, 2013b). A Agencia Internacional de Energia (IEA<sup>5</sup>) defende a necessidade de transformação do sistema energético global para 2040, que se resume a cinco mudanças massivamente ambiciosas na forma como utilizamos a energia. A primeira está relacionada com a produção energética global que terá de aumentar a sua produtividade em mais do dobro para que seja necessário apenas 85 toneladas de petróleo por cada milhão de dólares, em vez das 184 toneladas que são precisas actualmente. A segunda mudança é a redução da utilização e queima de combustíveis fósseis, mudando para alternativas menos poluentes como a energia nuclear, o gás e as energias renováveis. A terceira exige que no ano de 2070 o balanço de emissões energéticas, ou seja emissões causadas pelo consumo de energia, seja igual a zero. A quarta consiste na substituição progressiva do petróleo de transporte por biocombustíveis, gás ou veículos eléctricos. Finalmente, a quinta medida seria o encerramento de centenas de estações de energia movidas a carvão e a construção de milhões de painéis solares e turbinas eólicas (OECD/IEA, 2014). Como tal, as ferramentas estão disponíveis, estas consistem na criação de políticas energéticas sustentáveis que estimulem o crescimento económico e a protecção do meio ambiente num contexto global - em particular em matéria de redução das emissões de gases com efeito de estufa que contribuem para a alteração climática - e devem ser aplicadas de imediato e de forma agressiva (UNEP, 2014).

---

<sup>4</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change. Estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) com intuito de fornecer informações científicas, técnicas e socioeconómicas relevantes para o entendimento das alterações climáticas.

<sup>5</sup> International Energy Agency.

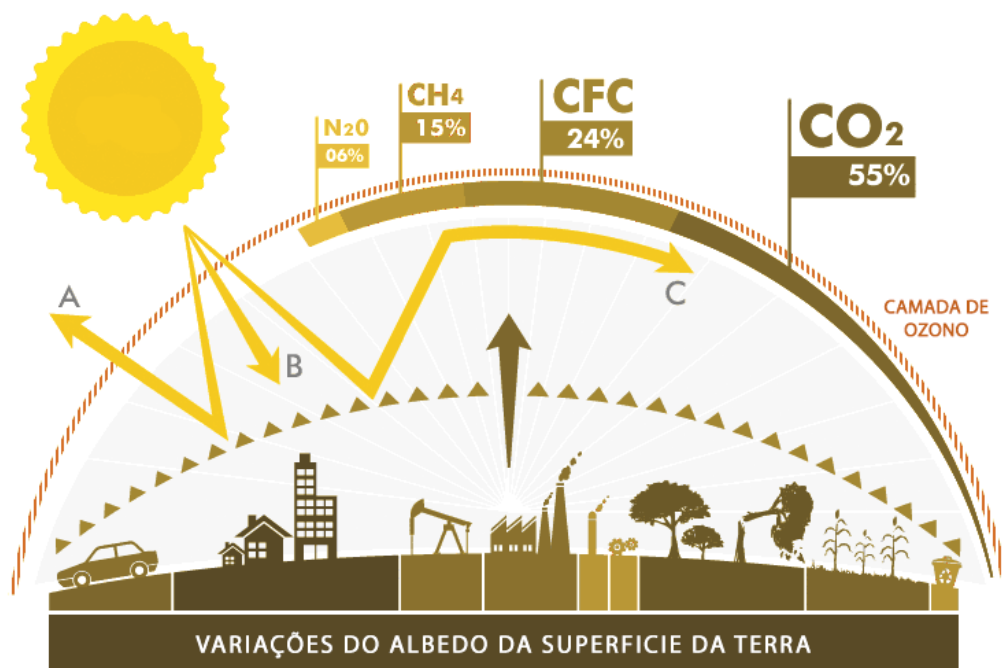
### 1.1. Causas, impactes e projecções

As alterações climáticas podem ter causas naturais e antropogénicas. No que respeita às causas naturais, os principais forçamentos externos que provocam alterações no clima, através de um desequilíbrio energético da atmosfera, são as variações da radiação solar que chega à Terra e as variações nos parâmetros que definem a órbita da Terra em torno do sol (Santos *et al.*, 2002). Esta última faz-se sentir lentamente e num longo período de anos (na ordem dos 20,000 a 400,000 anos), sendo as variações orbitais do planeta as responsáveis pela alternância entre os períodos glaciares e interglaciares que se têm vindo a registar nos últimos 800,000 anos. Actualmente o clima global é caracterizado por um “longo verão” estando inserido num período interglaciar que teve início há cerca de 20,000 anos atrás. Quando este encontrou a estabilidade, deu-se o começo da expansão da Humanidade e da civilização, uma vez que encontraram aqui as condições ideais para o seu desenvolvimento e difusão ao longo de todo o planeta (Santos *et al.*, 2002; Oliveira, 2013).

Relativamente às causas antrópicas, as alterações do clima global resultam maioritariamente das alterações na composição da atmosfera, sobretudo, dos níveis de concentração dos gases com efeito de estufa (GEE). Destes fazem parte o vapor de água ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), clorofluorcarbonetos (CFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), hexafluoreto de enxofre ( $SF_6$ ) e ozono ( $O_3$ ) (Santos *et al.*, 2002; Dahlman, 29 Maio 2011).

O sistema climático da Terra é alimentado pela radiação solar. A temperatura média da Terra tem-se mantido relativamente constante ao longo de muitos séculos o que significa que tem existido um equilíbrio entre a radiação solar incidente absorvida e a radiação solar emergente, irradiada sob a forma de radiação infravermelha. Da radiação solar incidente, cerca de metade é absorvida pela superfície da Terra, aproximadamente 30% é reflectida de volta para o espaço por gases e aerossóis, nuvens e pela superfície da Terra (albedo) e cerca de 20% é absorvida na atmosfera. A radiação infravermelha emitida a partir da superfície da Terra é em grande parte absorvida pelos GEE e pelas nuvens - que emitem radiação em todas as direcções. Quando a concentração de GEE aumenta na atmosfera, existe uma maior percentagem de radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra a ser absorvida, essa radiação emitida de volta pelos GEE cria um aumento de calor na baixa atmosfera (troposfera) e na superfície da Terra. A este processo de aumento da temperatura provocado pela absorção de radiação infravermelha pelos GEE dá-se o nome de efeito de estufa (Figura 1.1) (IPCC, 2013b).





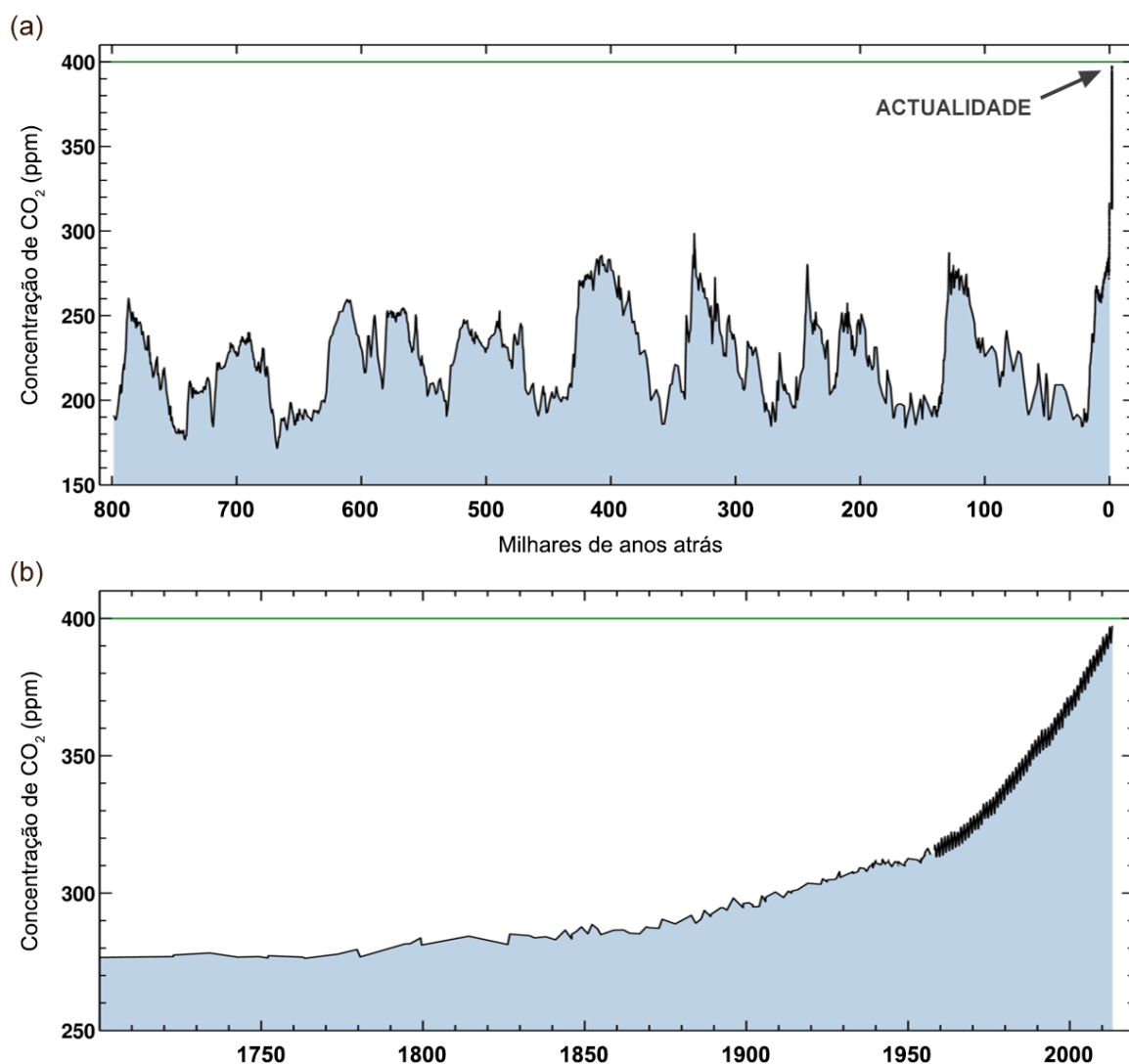
**Figura 1.1 | Efeito de estufa.** A) Radiação solar que é refletida de volta para o espaço pela superfície da Terra. B) Radiação solar que é absorvida pela superfície da Terra. C) Radiação infravermelha refletida pela superfície da Terra e que é absorvida pelos GEE que envolvem o planeta. Com o aumento dos GEE na atmosfera, uma maior percentagem de radiação infravermelha é absorvida pelos mesmos, significando assim um aumento na temperatura global da baixa atmosfera e superfície da Terra. [Fonte: adaptado de IPCC, 2013b].

As alterações no balanço global de energia dependem das mudanças tanto na radiação solar incidente como na radiação solar emergente (radiação infravermelha). As mudanças na radiação solar incidente derivam de mudanças na energia emanada pelo sol ou alterações no albedo da Terra. As mudanças na radiação infravermelha podem resultar de alterações na temperatura da superfície terrestre ou da atmosfera ou mudanças na emissividade de radiação infravermelha, tanto a partir da atmosfera como da superfície da Terra. Para a atmosfera, essas mudanças na emissividade são devidas predominantemente às mudanças da nebulosidade e nas propriedades da nuvem, às concentrações de aerossóis, isto é, partículas em suspensão, e aos GEE (IPCC, 2013b).

O balanço de energia da Terra encontra-se praticamente em harmonia, no entanto o calor dos oceanos obtido por medições de satélite indicam um pequeno desequilíbrio, contribuindo assim para um forçamento radiativo positivo (Murphy *et al.*, 2009; Trenberth *et al.*, 2009; Hansen *et al.*, 2011) que é consistente com as rápidas alterações na composição atmosférica. Alguns aerossóis aumentam a reflectividade atmosférica, enquanto outros são absorventes fortes e também modificam a radiação solar (Charlson *et al.*, 1992; Hansen *et al.*, 1997). A produção e emissão de aerossóis pode resultar de várias actividades humanas. Resultam sobretudo, directamente ou por meio de reacções químicas, de actividades agrícolas e industriais (e.g. queima de combustíveis fósseis e biomassa, etc.) mas a sua

permanência na atmosfera é relativamente curta. É preciso considerar também os aerossóis naturais, resultantes de erupções vulcânicas, erosão eólica dos solos e dos vários processos de formação de sais marinhos, provenientes dos oceanos (Santos, 2006). Os aerossóis afectam o clima de uma forma indirecta, uma vez que muitos servem como núcleos de condensação de gotas de água ou núcleos de gelo, que estão na origem das nuvens. Significa isto que mudanças no tipo e na distribuição de aerossóis podem resultar em mudanças pequenas, mas importantes, no albedo e no tempo de duração das nuvens. As nuvens desempenham um papel crítico no clima, tanto pela sua capacidade de arrefecimento do planeta, pois podem aumentar o albedo, como também pelos seus efeitos de aquecimento através de transferência de radiação infravermelha (IPCC, 2013b; Hansen *et al.*, 2013; Hansen, 2014). Também os GEE desempenham um papel fundamental no equilíbrio radiactivo da atmosfera, uma vez que na ausência destes, a radiação infravermelha não seria absorvida, sendo reflectida directamente para o espaço pela superfície da Terra. A presença de GEE em concentrações reduzidas na atmosfera é, portanto, essencial para um efeito de estufa equilibrado, ou seja, para a manutenção da temperatura no sistema Atmosfera-Terra (Montzka *et al.*, 2011; Butler & Montzka, 2014). Esta é responsável pela temperatura média superficial de 15°C. Estima-se que, na ausência deste fenómeno, denominado efeito de estufa natural, a temperatura média à superfície seria 33°C inferior à actual (UNEP/UNFCCC, 2002), ou seja -18°C, impossibilitando assim a vida na Terra.

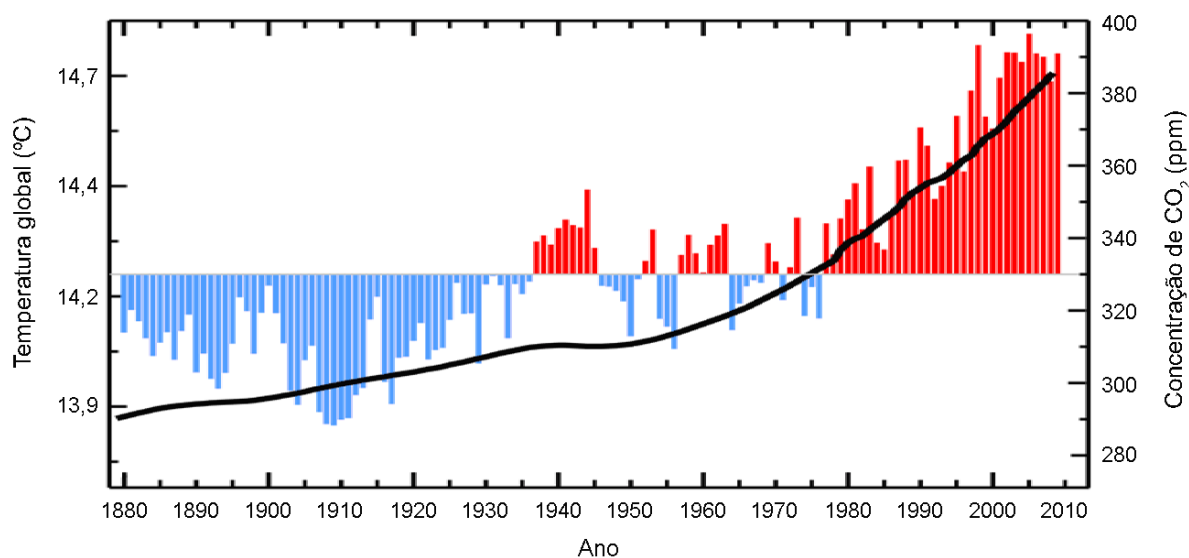
O nosso planeta está vivo. Respira, mas muito lentamente. Sendo que uma única respiração demora um ano inteiro a ocorrer. As florestas abrigam a maioria da vida da Terra e grande parte destas encontram-se no Hemisfério Norte. Quando a Primavera chega no Norte, as florestas inalam o dióxido de carbono do ar e crescem, deixando o terreno verde. A quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera reduz. Quando chega o Inverno as plantas começam a perder as folhas e estas decompõem-se, exalando o dióxido de carbono de volta para a atmosfera. A mesma coisa acontece no Hemisfério Sul na altura do ano oposta (Sagan *et al.*, 2014). No entanto, o Hemisfério Sul é composto maioritariamente por oceano. Assim, são as florestas do Norte que controlam as mudanças anuais da concentração de dióxido de carbono global. Este processo de respiração da Terra já ocorre há dezenas de milhões de anos. Mas ninguém notou até 1958, quando o oceanógrafo Charles David Keeling desenvolveu um método de medir com exactidão a concentração de dióxido de carbono na atmosfera. Keeling descobriu a requintada respiração da Terra. Mas também descobriu um aumento rápido, nunca visto na história humana, do nível médio de CO<sub>2</sub>, que tem continuado desde então. Nos últimos 800 mil anos a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera nunca subiu mais do que 0,03%. Isto é, até o começo do século XX. E tem subido constante e rapidamente desde então. Actualmente o valor é aproximadamente 40% mais alto do que era antes da Revolução Industrial (figura 1.2) (Keeling, 1960; Sagan *et al.*, 2014).



**Figura 1.2 | Concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera nos últimos 800 mil anos.** Valores anteriores a 1958 obtidos através de observações realizadas em núcleos de gelo na Antártida e valores posteriores a 1958 obtidos pelo observatório Mauna Loa. **(a)** No eixo vertical pode ser lida a concentração de dióxido de carbono (em partes por milhão) enquanto no eixo horizontal é lido o tempo, em milhares de anos atrás. Nesta escala, o Homem (*Homo sapiens*) surgiu apenas há cerca de 200 mil anos atrás. No eixo horizontal, zero corresponde à actualidade onde a concentração de CO<sub>2</sub> quase duplicou. **(b)** Ampliação do mesmo gráfico para o período de anos onde se deu o maior aumento na concentração de CO<sub>2</sub>. [Fonte: Adaptado de National Research Council, 2010].

Cerca de 60% do forçamento radiactivo causado por todas as emissões antrópicas de GEE é consequência do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> que tem vindo a ocorrer desde 1750, por outras palavras, o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> desde a Revolução Industrial é a causa principal, mas não a única, do efeito de estufa antropogénico (Hofmann *et al.*, 2006; Kennedy, 2009; IPCC, 2013b) e está directamente relacionado com o aumento da temperatura média global (Figura 1.3). A temperatura média global é um dos indicadores mais citados da mudança climática global e mostra um aumento de aproximadamente 0,74°C desde o início do século XX (NOAA, Julho 2014). No entanto, em algumas regiões continentais o aumento foi maior, atingindo os 0,95°C (CRU, 2003). Este aumento de

temperatura também se fez sentir mais nos meses de inverno em oposição aos de verão e na Europa este aumento foi maior a noroeste da Rússia e na Península Ibérica (EAA, 2012). A temperatura da superfície global é baseada em dados de temperatura do ar mais temperaturas terrestres e da superfície do mar observados a partir de navios, bóias e satélites. Existe uma tendência clara para um forçamento radiactivo positivo global a longo prazo, embora, cada ano isoladamente nem sempre mostre um aumento de temperatura em relação ao ano anterior, assim como alguns anos mostram alterações maiores do que outros (NOAA, Julho 2014). Estas flutuações de ano para ano na temperatura acontecem devido a processos naturais, tais como os efeitos do El Niño e La Niña<sup>6</sup>, e erupções de grandes vulcões. Notavelmente, os 20 anos mais quentes ocorreram todos desde 1981, e os 10 mais quentes ocorreram todos na última década (Figura 1.3) (NOAA, Julho 2014).



**Figura 1.3| Temperatura global e dióxido de carbono.** Temperatura média global medida sobre a superfície terrestre e oceânica. As barras vermelhas indicam temperaturas acima da temperatura média e as barras azuis indicam temperaturas abaixo desta (medida entre 1901-2000). A linha preta mostra a concentração de dióxido de carbono atmosférico em partes por milhão. [Fonte: adaptado de NOAA, Julho 2014].

O aumento da temperatura global desde os finais do século XIX deu-se em dois períodos distintos: de 1910 a 1945 e a partir de 1976 (Figura 1.3) com um aumento de cerca de 0,15°C por década, sendo que actualmente é de cerca de  $0,17 \pm 0,05^\circ\text{C}$  por década (IPCC, 2013b). Estes números apresentam alguma irregularidade, tanto no valor como na rapidez com que ocorreram. As variações observadas na temperatura nos últimos 100 anos excedem largamente as variações climáticas naturais dos últimos 1000 anos (Santos, 2006; IPCC, 2013b; NOAA, 2014). Com o aumento da

<sup>6</sup> El Niño é caracterizado por temperaturas oceânicas invulgarmente quentes no oceano Pacífico Equatorial, ao contrário de La Niña, que se caracteriza por temperaturas anormalmente frias (Philander, 1990).

temperatura global surgem outras alterações no clima, Estas alterações climáticas provocam impactes importantes na agricultura, nos recursos hídricos, no uso do solo, na biodiversidade e na economia. Estas têm sido observadas de diversas formas, desde a diminuição dos calotes polares do Ártico, o recuo dos mantos de gelo da Gronelândia e dos glaciares de montanha ou a aceleração da subida do nível do mar, que passou de 1,7 mm/ano durante o século XX para 3,2 mm/ano nas últimas duas décadas (Oliveira, 2013; IPCC, 2013b). Surgem ainda outros impactes menos imediatos tais como a diminuição global das áreas cobertas por gelo e neve, a mudança dos padrões de precipitação, resultando em períodos extremos de secas e cheias, o aumento da ocorrência de eventos extremos tais como tempestades, tornados e *tsunamis*, a alteração do pH e temperatura do oceano, tornando-o mais ácido e quente (IPCC, 2013b). Poderão ser consultados, em anexo, três quadros que expõem, de forma resumida, as principais alterações climáticas e impactes observados em várias partes do planeta (Anexo 1) e na Europa (Anexo 2), assim como as alterações climáticas e impactes globais esperados durante o século XXI (Anexo 3).

Existe uma grande probabilidade das emissões antrópicas de GEE continuarem a aumentar nos próximos anos, maioritariamente devido à dependência da economia mundial nos combustíveis fósseis. Com a queima de carvão, óleo e gás, a nossa civilização está a exalar dióxido de carbono muito mais rápido do que a Terra pode absorver. Consequentemente também o aumento da temperatura global e restantes alterações climáticas se irão agravar ao longo do século XXI. Assim, com base no entendimento científico sobre os principais processos causadores das alterações climáticas e para obter projecções<sup>7</sup> sobre o clima futuro, constroem-se modelos do sistema climático da Terra, sendo os mais completos e fiáveis os modelos de circulação geral (GCMs<sup>8</sup>), que incorporam os princípios e processos físicos essenciais na determinação das condições climáticas. Estes modelos permitem-nos a criação de vários cenários que *“simulam a evolução do vento, temperatura, precipitação, humidade do solo, área coberta de neve, extensão dos calotes polares, circulação oceânica e outras variáveis [...] para períodos da ordem de décadas a séculos.”* (Santos *et al.*, 2002). Estes são essenciais para uma gestão prevenida e prudente dos riscos potenciais envolvidos nas alterações climáticas, no entanto, é preciso considerar também o desenvolvimento socioeconómico e tecnológico futuros, dado que estes determinam as emissões antropogénicas de GEE para a atmosfera. É, portanto, importante considerar sempre os cenários climáticos e os cenários de emissões, que fornecem uma representação do clima futuro e das projecções futuras de GEE e aerossóis respectivamente (Santos *et al.*, 2002; IPCC, 2013b).

---

<sup>7</sup> O termo projecção é utilizado em vez de previsão, uma vez que uma previsão implica normalmente que se conheça as leis de probabilidade a esta associada o que, actualmente, não é possível fazer para o clima futuro (Santos & Miranda, 2006).

<sup>8</sup> General Circulation Models.

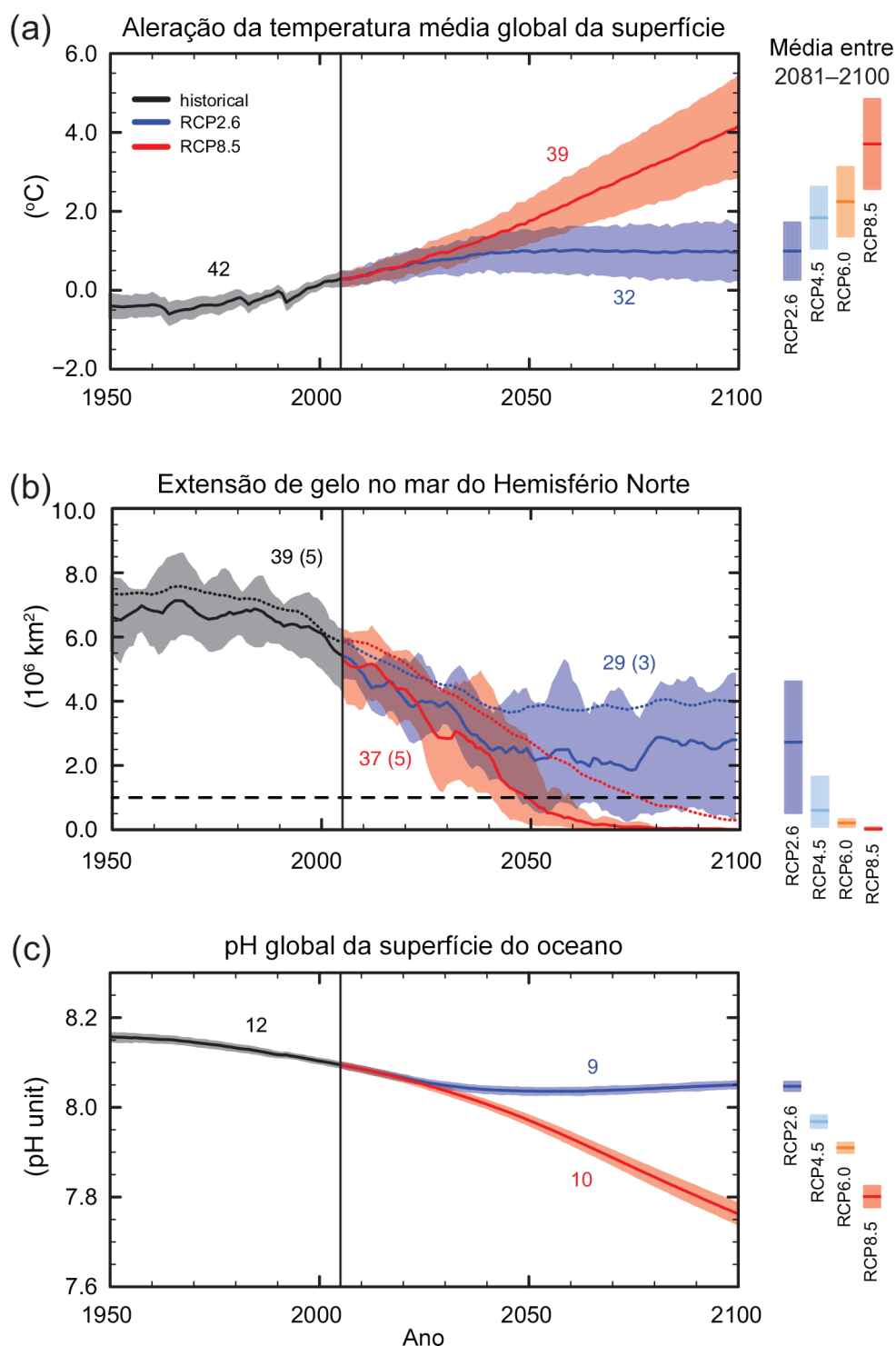
As projecções apresentadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) fundamentam-se em quatro acontecimentos distintos: os RCPs<sup>9</sup>. Que descrevem quatro cenários climáticos possíveis, tendo em conta a concentração e como serão emitidos os GEE nos anos que virão. Os quatro cenários de emissões: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, são denominados após um possível intervalo de valores para o forçamento radiactivo no ano de 2100 em relação aos valores pré-industriais (2,6; 4,5; 6,0 e 8,5 W/m<sup>2</sup>, respectivamente) (Weyant *et al.*, 2009). Os RCPs são conciliáveis com uma ampla gama de possíveis mudanças na emissão antrópica de GEE no futuro. O cenário RCP 2.6 assume que as emissões de GEE anuais globais terão o seu pico entre 2010 e 2020, começando a diminuir substancialmente após essa data. As emissões no RCP 4.5 terão o seu pico por volta de 2040, começando depois o respectivo declínio. No RCP 6.0 o pico de emissões será em torno de 2080 e depois decresce. Por fim, no RCP 8.5, as emissões continuam a aumentar ao longo do século XXI (IPCC, 2013b). Assim, podemos considerar o RCP 2.6 e o RCP 8.5 como os cenários menos e mais pessimista, respectivamente.

As projecções para as próximas décadas mostram padrões espaciais das alterações climáticas semelhantes aos previstos para o final do século XXI, mas com menor magnitude (Herring, 2012). Por meados do século a grandeza das mudanças previstas é substancialmente afectada pela escolha do cenário de emissões. Assim, segundo o quinto relatório de avaliação do IPCC, o aumento da temperatura média global da superfície em 2081-2100 em relação ao período de 1986-2005 estará presumivelmente dentro dos seguintes intervalos: 0,3°C a 1,7°C (RCP 2.6), 1,1°C a 2,6°C (RCP 4.5), 1,4°C a 3,1°C (RCP 6.0), 2,6°C a 4,8°C (RCP 8.5) (IPCC, 2013c). A região do Hemisfério Norte e mar do Ártico terá um aquecimento mais acelerado do que a média global e o aquecimento médio será maior nas regiões continentais do que no oceano (Figura 1.4 e Figura 1.5) (IPCC, 2013c; Oliveira, 2013) o que fará com que a amplitude térmica nas zonas terrestres diminua implicando assim uma maior probabilidade de ondas de calor e secas.

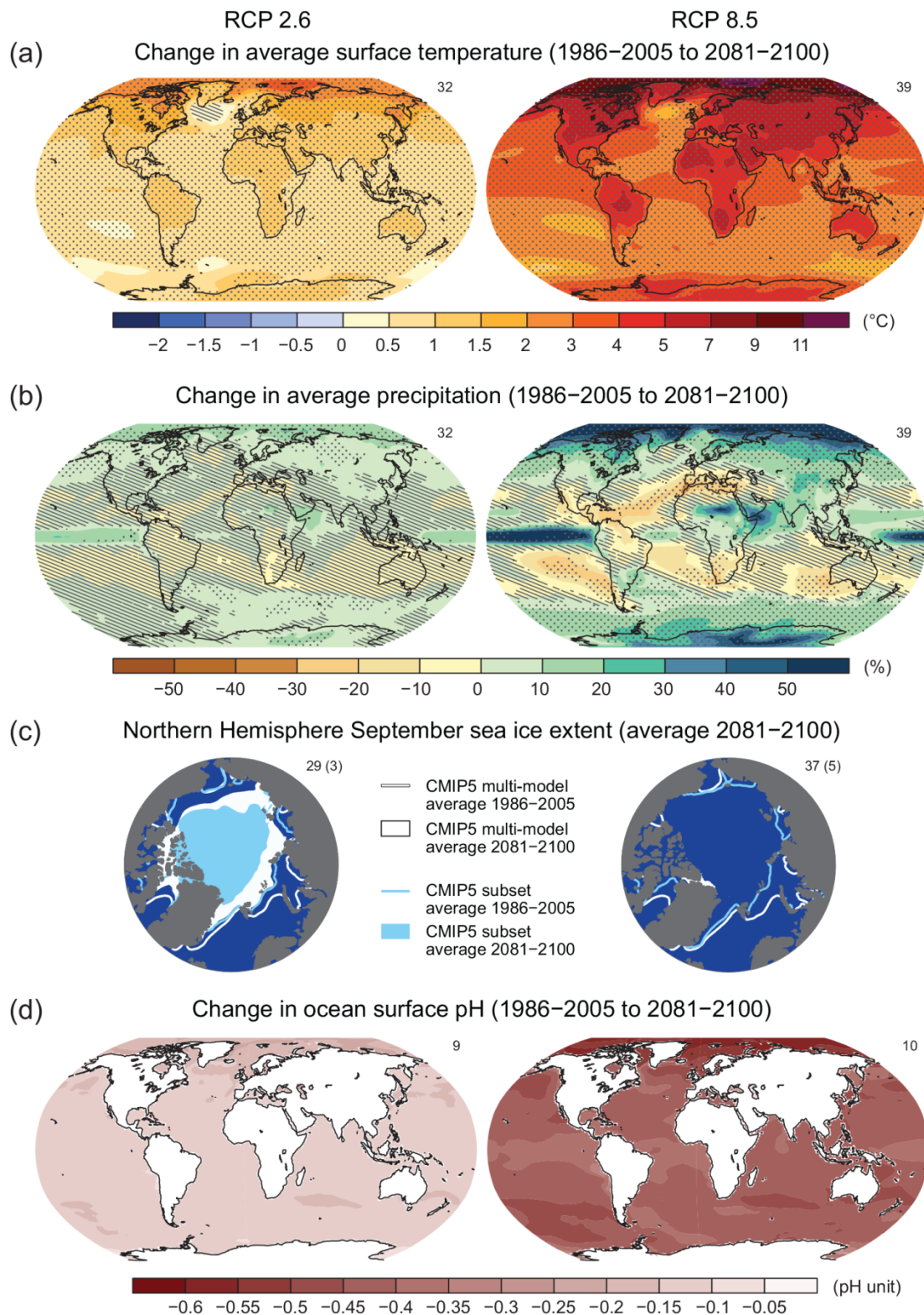
No mesmo relatório verifica-se que a *“alteração no ciclo da água global em resposta ao aquecimento ao longo do século XXI não será uniforme. O contraste na precipitação entre as regiões húmidas e secas e entre estações chuvosa e seca vai aumentar [...]”* (IPCC, 2013c) embora possa haver excepções regionais (Figura 1.5). As altas latitudes e o Oceano Pacífico equatorial são propensos a experimentar um aumento na precipitação média anual até o final deste século. Em muitas regiões tropicais secas e de média latitude, a precipitação média anual irá, hipoteticamente, diminuir enquanto algumas regiões húmidas de latitudes médias, a precipitação média anual deverá aumentar (Figura 1.5).

---

<sup>9</sup> Representative Concentration Pathways.



**Figura 1.4| Multimodelo com simulação de séries temporais de 1950 a 2100.** (a) Alteração da temperatura média global anual da superfície em relação ao período de 1886-2005, (b) Extensão de gelo no mar do Hemisfério Norte e (c) pH global da superfície do oceano. É representado o valor médio das projecções (linha) e da incerteza (sombreamento) para os cenários RCP 2.6 (azul) e RCP 8.5 (vermelho). A cor preta e respectivo sombreamento cinzento representa a evolução histórica modelada através de alterações ou forçamentos históricos reconstruídos. A média e respectiva incerteza para o período de 2081-2100 é representada para todos os cenários RCP através de barras verticais coloridas à direita de cada modelo. O número indicado no campo do gráfico representa o número de modelos utilizados para obter o resultado médio apresentado. [Fonte: Adaptado de IPCC, 2013c].



**Figura 1.5| Resultados médios para o período de 2081-2100 nos cenários RCP 2.6 e RCP 8.5. (a)** Variação média anual da temperatura de superfície, **(b)** Alteração da percentagem média da precipitação média anual, **(c)** Extensão de gelo no mar Ártico e **(d)** Alteração do pH da superfície do oceano. As alterações nos mapas (a), (b) e (d) são apresentadas em relação ao período de 1986-2005. No mapa (c) as linhas representam a modelação para o período de 1986-2005 e a área preenchida para o final do século. O número no canto superior direito de cada mapa representa o número de modelos utilizados para obter o resultado médio apresentado. [Fonte: IPCC, 2013c].

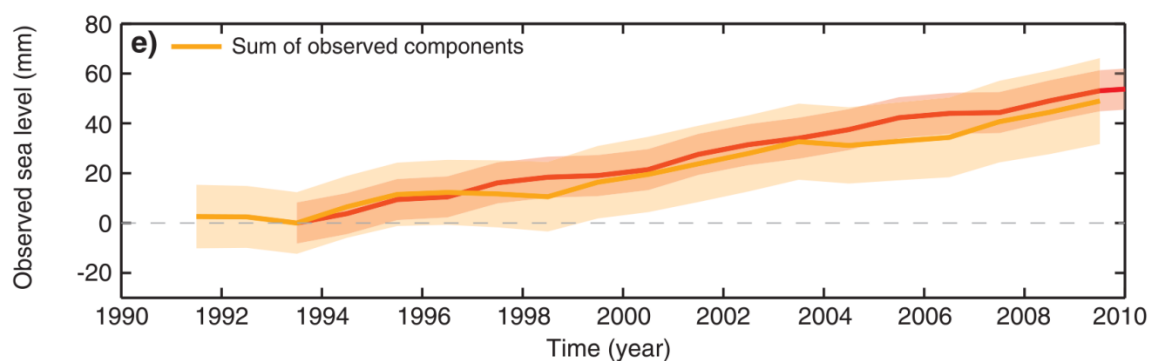


### 1.1.1. Subida do Nível do Mar

O nível do mar pode variar conforme o oceano aquece ou arrefece, da forma como a água é transferida entre oceano e continentes ou entre oceano e mantos de gelo, da redistribuição da água dentro do oceano devido às marés e mudanças na circulação oceânica e atmosférica. Pode aumentar ou reduzir em escalas de tempo que variam de poucas horas a séculos, escalas espaciais que vão desde alguns metros até milhares de quilómetros, com variações na altura desde poucos milímetros a um metro ou mais (devido às marés). O nível do mar integra e reflecte múltiplos sinais climáticos e dinâmicos (Rhein *et al.*, 2013).

O clima da Terra dos últimos milhões de anos tem sido dominado por ciclos da idade do gelo. Estes consistiram em longos períodos frios (glaciações), onde gigantescos mantos de gelo cresceram sobre as massas continentais nos polos e perto destes e uma vez que água que se evaporava dos oceanos era contida como gelo na superfície terrestre, o nível do mar global reduzia substancialmente (Lambeck *et al.*, 2004). Durante os intervalos mais curtos e quentes (interglaciações) o gelo acumulado começou a desintegrar-se e com o seu degelo o nível global do mar subiu novamente. Desde a parte mais fria da última era glacial (cerca de 20.000 anos atrás) até hoje, o nível do mar subiu cerca de 120 metros. Apesar de todos os detalhes não serem ainda bem compreendidos, a força motora por de trás destes ciclos glaciares e interglaciares são as variações lentas na órbita da Terra em torno do sol, que diminuíram ou aumentaram ligeiramente a quantidade de radiação solar que atingiu a superfície do planeta. Nos últimos 4000-5000 anos o volume global do oceano encontrava-se estabilizado até à chegada da Revolução Industrial, originando, a partir do século XIX, uma nova subida do nível do mar que se tem mantido. Apesar de sofrer acelerações a curto prazo, e desacelerações, o nível do mar global, em média, sofreu uma aceleração a longo prazo até aos dias de hoje (figura 1.6) (Fenoglio-Marc & Tel, 2009; Church & White, 2011; Church *et al.*, 2013). Através de observações feitas por marégrafos, e desde os anos 90 por satélite, foi possível perceber que o nível do mar não é uma entidade estável. Para o período entre 1880 e 2009 registou-se um aumento de aproximadamente 21 centímetros (Church & White, 2011). Ao longo do século passado registou-se uma subida média do nível do mar de cerca de  $1,8 \pm 0,3$  mm/ano para o período de 1950 a 2000, aumentando, nas últimas décadas para  $2,8 \pm 0,4$  mm/ano durante 1993-2003 (Cazenave, 2004; Lombard *et al.*, 2005),  $3,1 \pm 0,4$  mm/ano em 1993-2006 (Beckley *et al.*, 2007),  $3,1 \pm 0,1$  mm/ano em 1993-2007 (Prandi *et al.*, 2009) e  $3,2 \pm 0,4$  mm/ano em 1993-2012 (Church *et al.*, 2013; CU, 2014).

Os principais factores que estão na origem da actual subida do nível médio do mar, consequência directa do efeito de estufa antropogénico, são a expansão térmica do oceano e a descongelação dos mantos de gelo e glaciares da Antárctica e Gronelândia (World Bank, 2012).

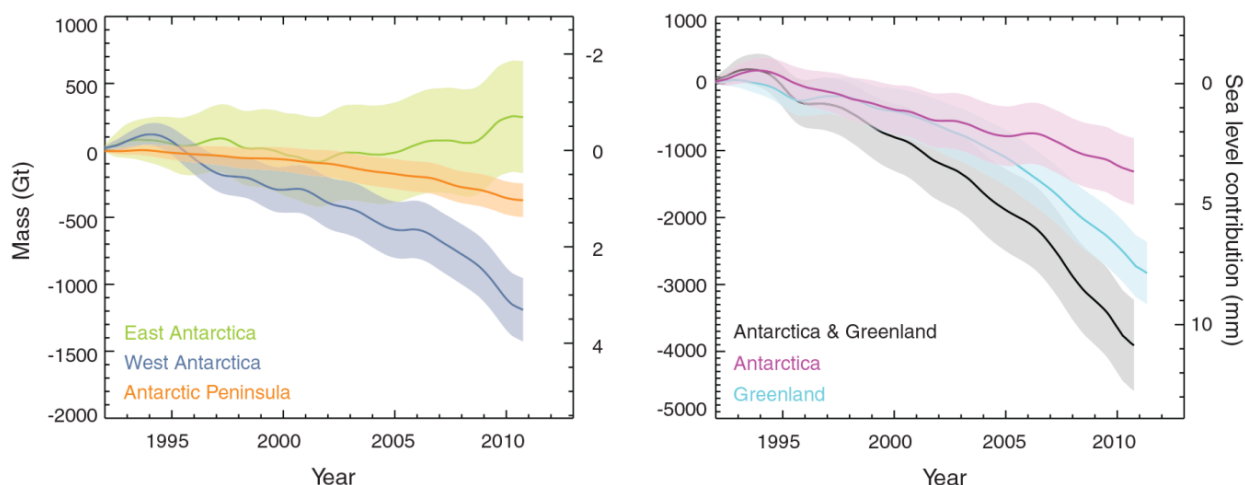


**Figura 1.6| Observações da subida do nível do mar desde 1990.** Comparação entre o somatório das contribuições observadas por vários autores (laranja) e as observações registadas por satélite altimétrico (vermelho) da subida do nível do mar. [Fonte: IPCC, 2013c].

A Expansão térmica dos oceanos e o derretimento dos glaciares têm contribuído de forma dominante para a subida do nível do mar global do século XX. Observações realizadas desde 1971 indicam que a expansão térmica e o derretimento dos glaciares (excluindo o manto de gelo da Antártida) explicam 75% do aumento observado (Church *et al.*, 2013, IPCC, 2013c). A contribuição da Groenlândia e dos mantos de gelo da Antártica tem aumentado desde o início de 1990, esse aumento é, em parte, induzido pelo fluxo de aquecimento do oceano imediatamente adjacente (Church *et al.*, 2013). A tendência indica que o oceano vai continuar a aquecer durante o século XXI o que faz com que as correntes e circulação oceânica sejam afectadas. A superfície oceânica nas regiões tropicais e nas regiões subtropicais no Hemisfério Norte terá um aquecimento mais elevado. Quando a profundidade é maior, o aquecimento será mais pronunciado no Oceano Antártico. As melhores estimativas de aquecimento do oceano até ao final do século XXI são cerca de 0,6°C (RCP2.6) a 2,0°C (RCP 8.5) para 100 m de profundidade, e cerca de 0,3°C (RCP 2.6) a 0,6°C (RCP 8.5) para uma profundidade de cerca de 1000 m (IPCC, 2013c). A expansão térmica é apenas responsável por cerca de 30% a 40% da subida do nível do mar, uma vez que a subida mais acelerada é consequência do rápido derretimento das massas de gelo, maioritariamente da Antártida e Gronelândia (Meyssignac & Cazenave, 2012).

À medida que a temperatura global da superfície aumenta a cobertura de gelo do mar Ártico (Gronelândia) continuará a encurtar e a neve de cobertura da Primavera no Hemisfério Norte a diminuir (Velicogna, 2009; Hellmer *et al.*, 2012). Esta deverá diminuir em 7% no cenário RCP 2.6 e em 25% no cenário RCP 8.5 (Figura 1.4 e Figura 1.5). A tendência é de que haverá um decréscimo no volume glacial global. As projecções médias da extensão de gelo no mar do Ártico indicam reduções durante todo o ano até ao final do século XXI. Estas reduções variam de 43% (RCP 2.6) a 94% (RCP 8.5) em Setembro e de 8% (RCP2.6) a 34% (RCP8.5) em Fevereiro. Até ao final do século, o volume glacial

global, excluindo os glaciares sobre a periferia da Antártida, deverá diminuir de 15% a 55% para o cenário menos pessimista (RCP 2.6) e 35% a 85% para o cenário mais pessimista (RCP 8.5) (IPCC, 2013c). O aquecimento será menos grave no caso da Gronelândia uma vez que os mantos de gelo se encontram maioritariamente assentes sobre superfície terrestre. Já no caso da Antártida, a situação agrava-se a Oeste do continente, uma vez que a maioria dos mantos de gelo se encontra directamente sobre o oceano. Os estudos indicam uma redução da massa de gelo na região Oeste e um aumento na região Este do continente (Velicogna, 2009) (figura 1.7), no entanto, a perda não é compensada pelos ganhos. Há ainda alguma incerteza quanto à contribuição (valores e velocidade) do degelo da Antártida para a subida do nível do mar, no entanto, é unanime o pensamento em como este processo se está a tornar irreversível. Como consequência directa da expansão térmica do oceano e da redução dos glaciares e mantos de gelo o nível médio global do mar irá continuar a subir durante o século XXI.

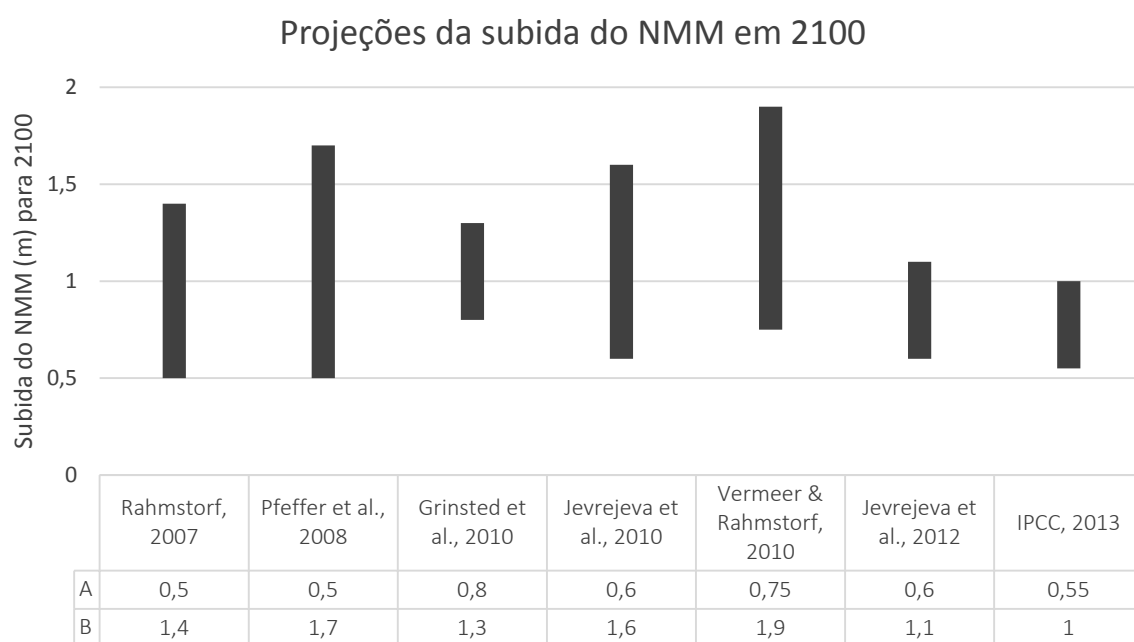


**Figura 1.7| Observação das variações acumuladas de massa dos mantos de gelo.** Do lado esquerdo é representado o continente Antártico (laranja) assim como o respectivo lado Este (verde) e Oeste (azul). Do lado direito estão representadas as variações para a Antártida (roxo) e Gronelândia (azul). O Somatório dos dois é representado na cor preta. [Fonte: Shepherd *et al.*, 2012].

A confiança do IPCC nos valores das projecções da subida média global do nível do mar aumentou significativamente desde o ultimo relatório emitido<sup>10</sup> tendo em conta que houve uma maior e melhor compreensão dos componentes físicos do nível do mar, uma melhoria nos modelos utilizados, baseados em processos e observações, e ainda a inclusão da dinâmica de mudança dos mantos polares. Assim, as atuais projecções feitas pelo IPCC para o período de 2081-2100 mostram uma subida média global do nível do mar de 0,26 a 0,55 m para o cenário menos pessimista (RCP 2.6), 0,33 a 0,63 m para os cenários RCP 4.5 e RCP 6.0 e uma subida de 0,45 a 0,84 m para o cenário RCP 8.5. A

<sup>10</sup> Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report (AR4) of Intergovernmental Panel on Climate Change.

subida até ao ano de 2100 no cenário mais pessimista, segundo o IPCC, é de 0,52 a 0,98 m com uma taxa de aumento de 8 a 16 mm/ano. Contudo, devido à actual controvérsia quanto a fiabilidade das diversas estimativas e à dificuldade de percepção dos futuros impactes da subida do nível do mar, outros autores na comunidade científica deram início à realização dos seus próprios estudos e projecções. Na sua generalidade, estes estudos mais completos projectam os processos através de modelos físicos e dos cenários de emissões, assim como a expansão térmica do oceano e o derretimento dos glaciares. A contribuição dos mantos de gelo é feita através de extrapolações das tendências actuais tendo em consideração os processos actualmente conhecidos. Na sua generalidade, estes estudos mostram valores ligeiramente diferentes dos projectados pelo IPCC, indicando uma subida do nível do mar média entre 0,50 e 1,50 m até ao final do século (Gráfico 1.1). Alguns estudos apresentam ainda valores entre 1,70 m e 2,50 m no caso de cenários mais pessimistas, tendo em consideração os máximos históricos da subida do nível médio do mar, contudo, a sua probabilidade de ocorrência neste século é extremamente baixa. Resume-se no quadro abaixo o valor das projecções.



**Gráfico 1.1 | Projeções dos principais autores para a subida do nível médio do mar em 2100.** Os valores correspondentes a A e B indicam as projecções máximas para um cenário menos e mais gravoso, respectivamente.

Como se verificou, o conhecimento científico sobre este tema é vasto, e é possível concluir com bastante robustez que a aceleração da subida do nível médio do mar será sentida com alguma severidade já no final do século e que é praticamente inevitável uma subida de pelo menos 0,50 m até 2100, no entanto, o resultado mais esperado é um aumento médio de aproximadamente 1,5 metros.

O fenómeno é irreversível uma vez que a expansão térmica do oceano tem vindo a aumentar e a reversão do derretimento dos mantos de gelo também não acontecerá. A severidade da subida do nível médio do mar dependerá da amplitude dos futuros impactes do nível de emissões, uma vez que são estas que determinam a gravidade do aumento. A subida não será uniforme. Até ao final do século XXI, é muito provável que o nível do mar aumente cerca de 95% da área do oceano e estima-se que cerca de 70% das zonas costeiras em todo o mundo sejam afectadas por este aumento (NOAA, Julho 2011; IPCC, 2013). A fim de ilustrar algumas situações de inundações mais graves surgem mais quatro projecções, de carácter excepcional, para a subida do nível do mar tendo em conta o derretimento dos grandes glaciares. O derretimento completo da camada de gelo da Antárctida Ocidental, o derretimento completo da camada de gelo da Gronelândia, o derretimento completo das camadas de gelo da Antárctida Ocidental e da Gronelândia, e o derretimento completo das camadas de gelo da Antárctida e da Gronelândia, originando assim um aumento do nível do mar de 5 m; 6,80 m; 11,80 m e 63 m, respectivamente (Kuhn *et al.*, 2011). No entanto, as projecções da SNM induzidas por uma desglaciação total, numa escala de tempo que não seja de milénios, são altamente incertas.

A subida do nível do mar distribui-se regionalmente e com variações de -10 a 10 mm/ano devido às diferenças de temperatura das águas do oceano, consequência da circulação oceânica e dos regimes de ventos. Esta constitui a causa principal da distribuição regional. Também o derretimento dos mantos de gelo irá afectar regionalmente a subida do nível do mar devido a fenómenos de atracção gravítica, sendo sentida uma subida mais elevada nas regiões mais distantes de onde ocorre o derretimento (Meyssignac & Cazenave, 2012; Oliveira, 2013). Quanto às projecções da subida do nível do mar para o caso específico de Portugal, mais concretamente a região de Lisboa, serão posteriormente referidas no parágrafo 1.2.1. deste capítulo.

Poderão ocorrer outros factores que influenciam a percepção do nível do mar nomeadamente nas zonas costeiras, são esses os movimentos verticais. Estes podem ser naturais ou de influência antrópica. Os movimentos verticais naturais, de origem geológica, devem-se maioritariamente a movimentos tectónicos que dão origem a falhas, ao ajustamento pós-glacial, que consiste na sobrelevação das massas terrestres que eram pressionadas pelo peso dos calotes glaciares durante a última glaciação, e à compactação ou consolidação de sedimentos, podendo ser positiva ou negativa. Já os movimentos verticais originados pela acção do Homem, que geralmente têm uma influência negativa, relacionam-se com a *“diminuição da acreção dos sedimentos costeiros, por alteração das correntes e pelo seu aprisionamento em barragens”* (Oliveira, 2013). Este fenómeno é evidente particularmente em estuários, ocorrendo a transformação do solo em terrenos agrícolas ou urbanos e cuja impermeabilização, drenagem e extracção de recursos contribui drasticamente para a compactação do mesmo. Este processo pode superar a subida do nível do mar, atingindo médias

superiores a 10 mm/ano em deltas e estuários, aumentando exponencialmente os riscos de inundação (Oliveira, 2013).

## 1.2. O clima em Portugal Continental

Portugal Continental localiza-se no extremo sudoeste do continente Europeu, na zona de transição entre o anticiclone dos Açores e a zona das depressões subpolares, sendo o clima fortemente influenciado pela proximidade ao Oceano Atlântico. As regiões mais interiores distam apenas cerca de 220 km deste, o que não impede que algumas dessas regiões apresentem características climáticas do tipo continental (Martinho, 2009). Outro dos factores determinantes do clima é a orografia da região, com áreas significativas das zonas Norte e Centro a ultrapassarem os 1000 m de altitude (Miranda *et al.*, 2006). Portugal Continental apresenta um clima Mediterrânico. Segundo a classificação de Köppen<sup>11</sup>, este divide-se em duas regiões: região sul, de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e quente (Csa) e região centro e norte, de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente (Csb). Neste tipo de clima, os meses mais frios estão associados à época das chuvas; no Inverno observa-se alguma precipitação, sendo esta quase nula durante a estação do Verão, que se caracteriza por ser seca e muito quente. No litoral, o Verão é mais ameno, sendo suavizado pelas correntes frias oceânicas. A temperatura média anual varia entre cerca de 7°C nas terras altas do interior norte e centro e cerca de 18°C no litoral sul (IPMA, 2014) sendo um dos países mais quentes da Europa. A variação de factores climáticos como a proximidade com o oceano, latitude do lugar ou orografia irá induzir variações significativas tanto na temperatura como na precipitação observadas. A região noroeste do país (Minho) é uma das zonas, em toda a Europa, que apresenta registos mais elevados de precipitação média anual acumulada, podendo alcançar, em alguns locais, valores superiores a 3000 mm. Por outro lado, no interior do país, em algumas zonas do Alentejo, a média dos valores não é superior a 500 mm. Estas variações interanuais tão acentuadas tornam a região bastante vulnerável a episódios de fenómenos extremos, associados à falta (secas) ou ao excesso de precipitação (cheias) (Miranda *et al.*, 2006).

A tendência climática observada em Portugal foi bastante semelhante à observada a nível global. Os maiores aumentos de temperatura na Europa, que se registaram desde os finais do século XIX em dois períodos distintos: de 1910 a 1945 e a partir de 1976 até ao presente, coincidem com o aumento observado da temperatura média global de aproximadamente 0,74°C desde o início do século XX (Klein Tank *et al.*, 2002). Assim como as temperaturas máximas e mínimas registadas em Portugal mostram tendências com o mesmo sinal das observadas a nível global. Em particular, no último quarto

---

<sup>11</sup> Sistema de classificação climática desenvolvido por Köppen (1928) partindo do pressuposto que a vegetação natural é a melhor expressão do clima de uma região (Rolim *et al.*, 2007).

de século registou-se um aumento significativo das temperaturas máximas e mínimas médias, em que ambas apresentaram valores das tendências a serem da mesma ordem de grandeza. No entanto, nos últimos anos observou-se uma diminuição da amplitude térmica, uma vez que o valor da tendência da temperatura mínima é superior ao da temperatura máxima (Miranda *et al.*, 2006).

Também a humidade relativa constitui uma variável importante na análise do clima da região. Numa análise feita em Lisboa, no período entre 1940 e 2002, verificou-se uma tendência positiva, ou seja um aumento gradual na percentagem de humidade relativa, em todas as estações do ano, sendo maior no verão e no outono. A humidade relativa em Lisboa aumentou em média a uma taxa de 1%/década, no período considerado, sendo que o ano de 2002 é aquele que apresenta valores mais elevados de humidade relativa (80%). Noutros pontos do país, o persistente aumento da humidade relativa também se verificou (Miranda *et al.*, 2006). Foi estudada a nebulosidade média anual, assim como a insolação anual observada, e os resultados são os esperados, tendo ocorrido um aumento da nebulosidade (devido a nuvens baixas) que é consistente tanto com o aumento da humidade relativa, como com o decréscimo do número de horas de sol, também observado (Miranda *et al.*, 2006). Estes factores contribuem significativamente para uma diminuição da amplitude térmica diária. Relativamente à precipitação observada nos últimos 20 anos do século XX, pode-se constatar que foram anos particularmente pouco chuvosos em Portugal Continental, comparados, por exemplo, com os valores médios registados no período de 1961-1990. O Inverno de 2000 foi um dos mais chuvosos e o Inverno seguinte, de 2001, um dos mais secos, para o período entre 1930 e 2002 (Zhang *et al.*, 1997; Corte-Real *et al.*, 1998). Ainda, segundo Miranda *et al.* (2006) no período de 1971 a 2000 observou-se uma redução da precipitação na Primavera, acompanhada de aumentos muito ligeiros nas outras estações. Esta perda foi notada, em diversas estações climáticas de Portugal Continental, maioritariamente no mês de Março, enquanto os ganhos moderados de precipitação registaram-se nos meses de Outubro e Dezembro. Não obstante, nos anos de 2000 e 2001, a precipitação observada na primavera atingiu os valores mais elevados desde o final da década de 60. Estas alterações traduzidas numa redução do período de Inverno e antecipação da Primavera são efeitos encontrados em diversos ambientes do hemisfério Norte e patentes em cenários de aquecimento global. Verificou-se que a precipitação mensal da Península ibérica é fortemente condicionada por um modo de circulação atmosférica de larga escala, denominado Oscilação do Atlântico Norte (NAO<sup>12</sup>) (Trigo *et al.*, 2002).

O clima em Portugal é fortemente afectado pela NAO. Esta representa o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica a Norte do Oceano Atlântico (Hurrell, 1995; Miranda *et al.*,

---

<sup>12</sup> North Atlantic Oscillation. O índice NAO foi inicialmente proposto por Walker (1924) como a diferença de pressão entre os Açores e a Islândia. Outros autores (Jones *et al.*, 1997; Osborne *et al.*, 1999) têm vindo a utilizar como índice NAO a diferença de pressão entre Lisboa e Islândia ou Gibraltar e Islândia (Miranda *et al.*, 2006).

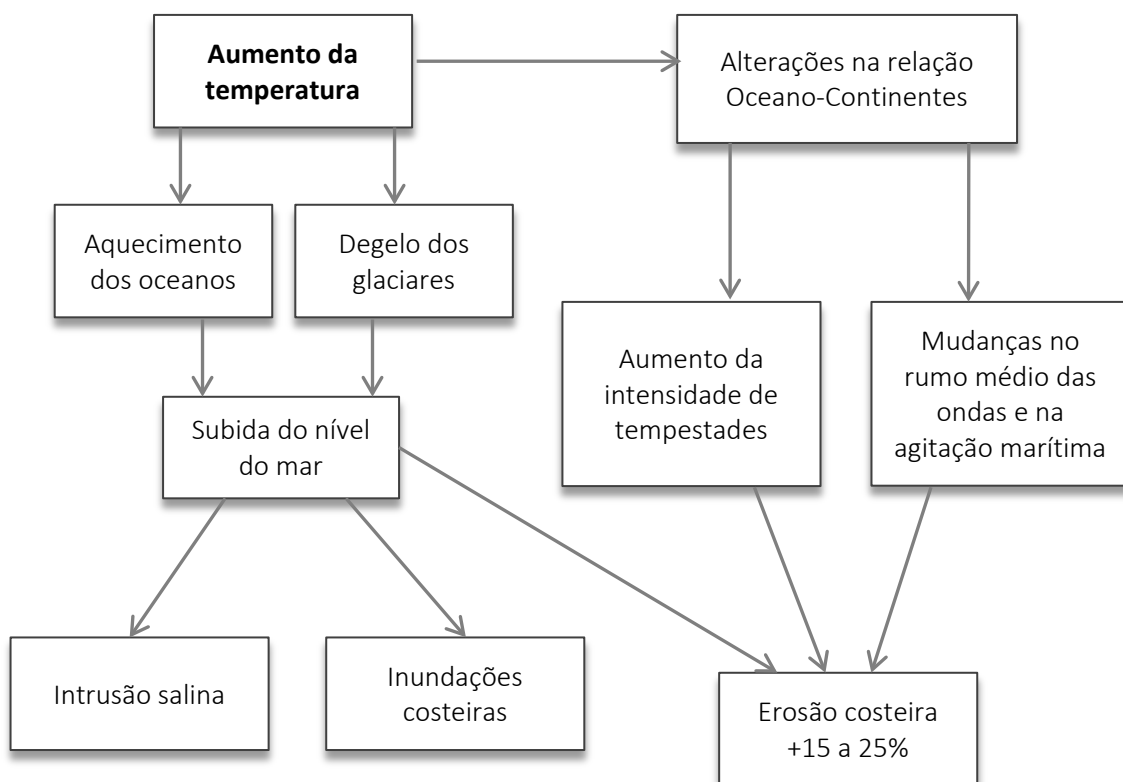
2006) e tem sido definida como *“um simples índice que mede a diferença de pressão entre Ponta Delgada (Açores) e Islândia”* (Hurrell & Van Loon, 1997; Trigo *et al.*, 2002b). A hipótese desta estar fortemente correlacionada com a precipitação e temperatura médias de certas regiões da Europa é defendida por diversos autores (Hurrell, 1995; Hurrell & Van Loon, 1997; Trigo *et al.*, 2002b). Segundo Trigo *et al.* (2002b) a NAO está relacionada com uma alternância da intensidade dos centros de baixas e de altas pressões (sobre a Islândia e sobre os Açores) favorecendo a intensificação dos ventos zonais de Oeste na fase positiva e o abrandamento dos mesmos na fase negativa. Trigo *et al.* (2002b) acrescenta ainda que *“este modo de circulação afecta de forma determinante as trajetórias das principais perturbações sinópticas que atravessam o oceano Atlântico e condicionam os campos da temperatura e da precipitação sobre a Europa. Assim, este modo de circulação atmosférica controla o estado do tempo em toda a Europa e é o factor determinante para o regime de precipitação invernal sobre a Península Ibérica, quer à escala mensal, quer à escala sazonal”* (Trigo *et al.*, 2002b). Segundo as observações realizadas em Portugal, as quantidades de precipitação acima da média e abaixo da média, estão associadas, respectivamente, a uma NAO baixa e uma NAO elevada (Trigo *et al.*, 2002, Miranda *et al.*, 2006). Diferentes modelos de circulação geral (GCMs) têm sido utilizados ao longo dos últimos anos para produzir cenários de alteração climática para o século XXI. Para a Península Ibérica, as séries temporais obtidas através dos vários GCMs mostram uma tendência crescente e um aquecimento significativo para este século. Na última metade do século XX, o aumento de temperatura na Península Ibérica foi de cerca de 1°C, sendo comparável com as observações climáticas realizadas. Já as projecções para o ano de 2100, grande parte dos GCMs indicam um aumento de temperatura na ordem dos 4°C a 7°C. Também a precipitação sofre algumas anomalias, uma vez que, segundo os mesmos GCMs, as simulações indicam um decréscimo da precipitação em que o cenário mais provável resulta numa diminuição da precipitação anual na ordem dos 100 mm (Santos *et al.*, 2002).

#### **1.2.1. Zonas Costeiras**

Quando se discute os conceitos de zona costeira ou zona litoral, estes referem-se à *“porção de território influenciada, em termos biofísicos, pelo mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que tem, para o lado de terra, a largura de 2 quilómetros medida a partir da linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais e se estende, para o lado do mar, até ao limite das águas territoriais (12 milhas náuticas), incluindo o leito.”* (Resolução do Conselho de Ministros n.º 82/2009 in Diário da República, 1.ª série - N.º 174 - 8 de Setembro de 2009). Portugal Continental compreende uma linha de costa, ou seja, a fronteira entre o mar e a terra, na ordem dos 950 km. Esta estende-se de Norte a Sul do país ao longo do oceano Atlântico. Segundo dados recentes, estima-se que cerca de 75% da população



portuguesa ocupe actualmente a zona costeira e que este número tenha tendência a aumentar significativamente nos próximos anos (MAOTDR/INAG, 2006). A densidade populacional no litoral é de 215 hab/Km<sup>2</sup> em comparação com a média nacional de 125 hab/Km<sup>2</sup>. Cerca de 35% deste espaço encontra-se ocupado por edificado urbano e estruturas industriais e portuárias, onde também se situam os principais centros de decisão política, polos comerciais e industriais, assim como centro das duas maiores cidades do país: Porto e Lisboa. Com o sector do turismo em expansão, a tendência de migração para o litoral persiste, aumentando assim a actividade económica e originando consecutivamente um conflito com os valores ambientais (Dias, 2005; Andrade *et al.*, 2006; Pereira & Coelho, 2013). O litoral, além de se desenvolver numa grande diversidade de litologias (Ribeiro *et al.*, 1979), ostenta também uma variedade morfológica notável, constituem ecossistemas únicos e irreconstituíveis à escala humana, resultantes de uma longa evolução. Segundo Andrade *et al.* (2006), este inclui “praias arenosas marginadas por dunas ou arribas, troços rochosos limitados por vertentes ou arribas, plataformas de abrasão marinha, praias encaixadas, promontórios e baías, tómbolos, restingas e ilhas-barreira, limitando lagunas e estuários a que se associa a maior parte das zonas húmidas” sendo estes nitidamente afectados pelas mais pequenas modificações no clima.



**Figura 1.8| Consequências das alterações climáticas sobre o litoral.** Síntese das principais consequências ambientais, económicas e sociais das alterações climáticas sobre as zonas costeiras. [Fonte: Adaptado de Alcoforado *et al.*, 2009].

A Figura 1.8 sintetiza as consequências ambientais, económicas e sociais que as alterações climáticas que irão ocorrer até ao final do século XXI terão sobre o litoral (Alcoforado et al., 2009). A transformação do regime de agitação marítima e a subida do nível médio do mar integram as mais importantes (Andrade et al., 2006; EEA, 2012). Outro risco para as regiões costeiras de baixa altitude é a intrusão de água salgada em reservatórios de água doce (aquíferos costeiros). Esta pode ser causada pela subida do nível do mar mas também pela exploração excessiva dos recursos hídricos subterrâneos. Pode constituir uma ameaça ao abastecimento de água doce, para agricultura e para os ecossistemas do litoral (EEA, 2012).

A informação reunida sobre a subida do nível médio do mar indica que, durante o século XX, o aumento foi de cerca de 15 cm (uma média de 1,5 mm/ano) no litoral de Portugal Continental (Dias & Taborda, 1992). Os valores registados começaram a subir a partir da década de 90, tal como os valores globais, estimando-se uma subida total de 16 cm entre 1935 e 2009 (Antunes, 2011; Oliveira, 2013). Esta variação foi resultado principalmente da expansão térmica do oceano originada por um aquecimento global de origem antropogénica. As projecções realizadas para 2100 apontam uma subida média de aproximadamente 1,5 m, semelhante ao valor médio global para um cenário mais pessimista, contudo, a taxa de subida do nível do mar não será constante, agravando-se a partir de 2040 (Santos *et al.*, 2002). Uma vez que são ausentes as diferenças entre a média global e o nível do mar registado em Portugal, é assim possível adoptar directamente as projecções globais (Santos *et al.*, 2002).

Consequência da subida do nível do mar, Nicholls & Cazenave (2010) apontam como impactes físicos mais significativos para o litoral a intensificação do processo erosivo e adaptação da nova linha costeira; o aumento das cotas de inundação e, consequentemente, das áreas inundadas, acompanhado da redução e reajuste dos ecossistemas ribeirinhos, como os sapais por exemplo; o aumento da influência marinha em bacias de maré costeiras (estuários e lagunas) acompanhado por modificação do regime de marés e, eventualmente, do balanço sedimentar; a intrusão salina nas águas subterrâneas. Estes impactes irão afectar não só diferentes pontos do litoral, como actividades e valores ambientais, económicos e sociais que lhes estão associados, de forma distinta e intensidade variável, de acordo com as particularidades específicas de cada local (Santos *et al.*, 2002).

# CAPÍTULO 2

## O CONHECIMENTO

### METODOLOGIAS DE MODELAÇÃO EM SIG DA SUBIDA DO NÍVEL DO MAR

A visualização de inundações em zonas costeiras é fundamental tanto para uma rápida avaliação da vulnerabilidade costeira como para o planeamento dessas áreas. O entendimento completo das possíveis implicações e impactes para a população, infra-estruturas e meio ambiente deve ser assumido de forma a que se possa reduzir os danos causados. Estas inundações causadas pela subida do nível do mar constituem uma grande ameaça para edifícios públicos e privados, bem como para infra-estruturas importantes, tais como Portos, Estações de Tratamento de Águas Residuais, subestações de energia, redes de transporte ou desportos náuticos, assim como zonas húmidas, ecossistemas únicos, terras agrícolas e sítios históricos e culturais (Neumann *et al.*, 2010).

O estado actual da literatura engloba uma vasta gama de instrumentos, no entanto seleccionaram-se as tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) uma vez que podem ser utilizadas para identificar e mapear as áreas de risco de inundação pela subida do nível do mar e analisar os usos do solo com maior probabilidade de ser afectado. Usando modelos de SIG também é possível estimar potenciais prejuízos económicos e custos dos danos ocorridos a partir da subida do nível do mar e de tempestades (Lichter & Felsenstein, 2012). Vários estudos avaliam a vulnerabilidade costeira face às alterações climáticas e subida do nível do mar através da modelação de SIG, contudo, uma grande maioria tem recorrido a suportes seriamente detalhados e precisos, tais como dados de inundação por tempestade, dados topográficos de alta resolução ou perfis de costa detalhados e dados de monitorização a longo prazo de praias. Como resultado, estes estudos são geralmente dispendiosos, consomem bastante tempo e focam-se sobre áreas localizadas muitas vezes de importância económica. Em termos da abordagem, grande parte consiste na aplicação de métodos de análise de impacte económico a fim de determinar os custos causados pelas alterações climáticas. Outros são desenvolvidos com o propósito de criar bases necessárias à posterior execução de planos estratégicos de actuação e de ordenamento do território tendo em conta as possíveis transformações da paisagem. Também a escala de trabalho é uma variável nas metodologias abordadas, que pode ir desde a escala local até uma escala regional ou inclusivamente global.

A revisão bibliográfica desta matéria e a análise aos diferentes estudos e respectivas metodologias tornou-se crucial para o desenvolvimento deste projecto com o intuito de avaliar qual o método que melhor se adapta ao caso de estudo tendo em conta as suas particularidades e atributos.

## **2.1. Revisão literária**

Bryan *et al.* (2001) utilizam as técnicas de modelação espacial de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na produção de mapas de vulnerabilidade a uma escala regional. São usados dados de elevação do terreno de baixa resolução (usualmente disponíveis) e alguns parâmetros físicos da paisagem como a elevação, exposição e declives. Por comparação, o mesmo processo é utilizado numa área incluída na anterior, numa escala de maior aproximação e com uso de dados de elevação do terreno de alta resolução. Através dos mapas obtidos, concluem que a vulnerabilidade costeira está fortemente relacionada com a elevação do terreno e exposição das vertentes em ambas as escalas de actuação e que apenas é ligeiramente mais acentuada na escala mais próxima onde são utilizados dados de alta resolução. Os resultados deste estudo sugerem que este tipo de modelação, realizada a uma escala regional, pode ser adequada como primeira abordagem para a avaliação da vulnerabilidade costeira relativamente à subida do nível do mar em regiões costeiras dominadas pelas marés. Esta fornece uma avaliação com precisão suficiente para que se proceda à sua gestão em terra e definição de áreas prioritárias.

Numa abordagem diferente Hennecke *et al.* (2004) combinam modelos de funcionamento costeiro em conjunto com a modelação de SIG de forma a estimar, tendo em conta a regressão costeira, os impactes físicos e económicos resultantes da subida do nível do mar e/ou tempestades costeiras para um segmento de praia de 10 km. Na sua metodologia foram utilizadas uma base topográfica e mapas batimétricos a diferentes escalas. Além disso, os potenciais impactes de uma tempestade projectada para 50 anos foram considerados em conjunto com o aumento do nível do mar. O valor monetário do terreno foi calculado, segundo fórmulas indicadas no estudo, e combinado com as taxas de recessão costeira simuladas. Este procedimento fornece uma primeira estimativa dos custos causados por potenciais riscos que uma localidade pode enfrentar, resultando numa carta onde se distingue espacialmente dois eventos na paisagem em estudo: a subida do nível do mar e a ocorrência de uma tempestade costeira simulada, ambas para um futuro de 50 anos. Simultaneamente é apresentada a taxa de recessão costeira, em metros, assim como a área de terreno perdida e a respectiva perda monetária, tendo em conta a valorização realizada para esse espaço. Os dados utilizados neste estudo são difíceis de obter, por serem dispendiosos e, na sua maioria, inexistentes para algumas zonas.

Dockerty *et al.* (2005) exploram o uso dos SIG como um método de interpretação e visualização dos impactes climáticos a nível local e apresentam-no de uma forma facilmente compreensível para decisores políticos. A fim de produzir as suas visualizações, os autores conjecturam possíveis mudanças do uso do solo sob cenários de alterações climáticas para o ano de 2020 para criar "*futurescapes*", ou seja, concepções de possíveis paisagens futuras com base na política actual e na pesquisa em ciências climáticas. Utilizam dados de elevação e topografia, juntamente com os limites administrativos municipais e dados de Censos. Foram ainda identificados mais de trinta classes de uso do solo, cerca de vinte dos quais se refere a diferentes culturas e usos agrícolas. Foram produzidos quatro potenciais cenários de alterações climáticas diferentes com base em projecções do IPCC e, em seguida, combinados com os dados atuais do uso do solo. No final, com base nos resultados anteriores, Dockerty *et al.* produziram visualizações de paisagem realistas (através de simulações em fotografias da paisagem) que representam as possíveis *futurescapes* da área de estudo em cada um dos cenários de alterações climáticas. O uso de SIG neste estudo permitiu aos autores combinar vários conjuntos de dados e manipulá-los para representar diferentes cenários possíveis com base na mudança de variáveis.

Por exemplo, Purvis *et al.* (2008) apresentam uma metodologia para estimar a probabilidade de inundação costeira com base na incerteza sobre a possível subida do nível do mar. Utilizam como exemplo o conjunto de magnitudes da subida do nível do mar para 2100 constantes do Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC (TAR) e deduzem uma probabilidade de distribuição plausível desse intervalo através do método de Monte Carlo<sup>13</sup>. Em seguida, é aplicado um método para aproximar a probabilidade de inundação em cada célula de uma estrutura de grelha regular sobre o conjunto e combinando estes mapas probabilísticos com mapas do uso do solo (consequência) são capazes de estimar as contribuições espaciais para risco de inundação (através de mapas que mostram as respectivas áreas identificadas) que poderão posteriormente auxiliar no planeamento.

Iain Brown (2006) descreve um método de diferentes níveis estratégicos desenvolvido para facilitar o diálogo entre os decisores políticos sobre a gestão do futuro uso do solo em zonas costeiras no contexto das alterações climáticas e das implicações da subida do nível do mar. São explorados Impactes de diferentes políticas de gestão através da sua influência sobre os padrões de inundação e consequente transformação da paisagem. O método é baseado numa série de regras desenvolvidas a partir do conhecimento científico e dados empíricos que relacionam a frequência de inundação costeira com as mudanças no uso e cobertura do solo, provenientes do desenvolvimento ecológico e actividades humanas. As regras são implementadas dentro de uma estrutura de grelha regular

---

<sup>13</sup> O Método de Monte Carlo consiste na repetição sucessiva de simulações (ou amostragens aleatórias) num elevado número de vezes para calcular probabilidades através de um método não comprovado cientificamente (Hammersley & Handscomb, 1964).

utilizando os princípios básicos de modelação de SIG. Este tipo de abordagem permite uma avaliação das várias opções políticas e os pressupostos críticos podem ser melhor redireccionados para os utentes finais do que com abordagens convencionais. O método foi especialmente desenvolvido a uma escala regional com o intuito de encorajar políticas de avaliação a este nível.

Li *et al.* (2009) baseando-se numa hipotética subida do nível do mar de um a seis metros, desenvolveram um método de modelação de SIG para avaliar, localizar e visualizar os impactes globais de uma potencial inundação utilizando os melhores conjuntos de dados de eleva o do terreno disponíveis a uma escala global.   feito o delineamento e cáculo das áreas susceptíveis e a sua posterior classifica o de uso do solo, de forma a estimar a popula o em risco. A delimita o destas áreas tem em conta a conectividade com a rede hidrológica, e, quando esta não existe, as respectivas áreas são excluídas. Este estudo propõe ainda técnicas de visualiza o interactivas de forma a garantir uma melhor exhibi o no mapa do progresso e impactes da inunda o potencial. Os resultados desta análise mostram como os SIG e os conjuntos de dados globais podem ser usados para responder a perguntas básicas sobre os impactes das altera es climáticas, apesar de reconhecer que existem várias limita es metodológicas e de obten o de dados.

Neumann *et al.* (2010) relatam um novo esforço para modelar uma resposta aos impactes econ micos da subida do nível do mar em propriedades costeiras através de uma abordagem de modela o em SIG que considera factores como o imediatismo do risco, a magnitude do valor do imóvel em risco, op es de adapta o   ameaça e o custo das mesmas e, em alguns casos, o uso do solo ou restri es regulamentares que se possam aplicar   propriedade. As projec es da subida do nível do mar utilizadas neste modelo são provenientes do MAGICC<sup>14</sup>. O método   aplicado a uma sec o da costa atlântica, em Nova Jersey, com intuito de fornecer estimativas do custo de protec o, eleva o e abandono. A abordagem acaba por produzir dois tipos de resultados: estimativas a nível nacional dos benefícios da redu o da subida do nível do mar, por meio do controle das emissões dos gases de efeito de estufa; e os resultados a nível local avaliando ac es de gestão que poderiam facilitar a adapta o aos riscos da subida do nível do mar.

Noutra linha, Kuhn *et al.* (2011) apontam um método simples, porém eficaz, de avaliar a extensão espacial das inunda es em zonas costeiras devido às altera es climáticas, através da topografia, imagem de s t lite e Sistemas de Informa o Geográfica. O método baseia-se no princípio geométrico da correspondência do novo nível do mar com a linha de contorno da eleva o correspondente em terra. Este método foi desenvolvido para uma escala de actua o regional (e.g. desde um km a algumas centenas de km) e uma vez que as bases necessárias são gerais, o nível de detalhe dependerá

---

<sup>14</sup> Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change.

das mesmas. Além disso, a eficácia do método é demonstrada pela detecção de áreas que podem ser defendidas por estruturas de protecção relativamente a pequenas inundações em entradas de rios e estuários, fornecendo, assim, informações valiosas para os decisores políticos e planeadores locais.

Alternativamente, Lichter e Felsentein (2012) descrevem uma estrutura sistemática para avaliar os custos da subida do nível do mar e inundações extremas a nível local através de um método mais complexo. Este baseia-se na relação e leitura de cartas de SIG com estimativas quantitativas dos efeitos dos riscos naturais. O que irá permitir uma monetização *ex ante* dos principais custos relacionados com os diferentes cenários de inundação permanente e inundações periódicas. O método desenvolve-se em três fases distintas. Na primeira fase são criados mapas de inundação, estes serão posteriormente utilizados como base para a análise espacial. Os limites de cada mapa de inundação são determinados por dois factores principais: a topografia e a conectividade hidrológica com o oceano. São considerados os cenários globais da subida do nível do mar para o séc. XXI num alcance que varia entre 0 e 1,5 metros. A inundação periódica é estimada considerando períodos de retorno (probabilidades) de marés altas extremas e eventos extremos, como *tsunamis*. Os cenários de inundações periódicas são, por sua vez combinados com os cenários de subida do nível do mar para alcançar toda a gama de possibilidades. Numa segunda fase procede-se à recolha de dados sociais e económicos a diferentes níveis e a sua distribuição espacial. Isso permite gerar estimativas de custos da subida do nível do mar em termos socioeconómicos num nível de desagregação espacial geralmente não disponível. Na terceira e última fase do método são emparelhados os resultados das duas fases anteriores, ou seja, os mapas de inundação da primeira fase com os custos calculados e os atributos socioeconómicos processados na segunda fase. O resultado é uma análise abrangente da exposição local, atendendo aos diferentes cenários da subida do nível do mar e inundações extremas. Nesta Metodologia, Felsentein e Lichter, utilizam os SIG maioritariamente como um método de recombinação de dados, em vez do seu uso mais frequente, como ferramenta de modelação e visualização.

Para Oswald e Treat (2013) é essencial a aplicação de práticas de adaptação e protecção face ao risco crítico que as alterações climáticas e subida do nível do mar constituem para as infra-estruturas de transporte, especialmente as redes de transporte público (linhas férreas e redes viárias de autocarro). Este estudo estabelece um método: TIMM<sup>15</sup>, utilizado para identificar, através de SIG, os sistemas de infra-estrutura lineares que são vulneráveis à subida do nível do mar. Para isso é criado um modelo de inundação tendo em conta a conectividade hidrológica e as projecções da subida do nível do mar sendo depois sobreposta a planta de infra-estruturas lineares. Este método permite que os órgãos responsáveis pelo planeamento e transportes públicos possam começar a adaptação por

---

<sup>15</sup> Transit Inundation Modeling Method.

meio da identificação dos locais de maior risco com base em vários níveis de inundação. Aplicando este método para identificar as vulnerabilidades, as agências de trânsito podem implementar práticas de adaptação (elevar, mudar ou reforçar) a fim de proteger as instalações já existentes assim como no planeamento de futuros projectos de transportes públicos.

Assim, os Sistemas de Informação Geográfica podem ser utilizados como uma ferramenta para manipular e visualizar dados resultantes de várias alterações climáticas, no entanto o seu papel mais valioso é na modelação de zonas de inundação, análise do risco de vulnerabilidade e estimativa dos custos dos impactes futuros. Além de fornecer um método simples e directo para a criação de modelos de inundação da subida do nível do mar, as tecnologias de SIG são ferramentas valiosas na condução de análises ao risco de inundação e avaliações de custos. Como os diferentes estudos abordados demonstram, os SIG podem ser usados como um instrumento de educação e divulgação valiosa para informar os decisores políticos sobre os impactes das alterações climáticas na região, bem como uma ferramenta para a análise, modelação e visualização.

Embora a importância dos estudos localizados e detalhados permaneça para áreas de particular significância, existe, neste projecto, uma necessidade real de técnicas adequadas para uma avaliação da vulnerabilidade costeira à subida do nível do mar a uma escala regional (linha de costa na ordem das centenas de quilómetros) e que não exija intensivos conjuntos de dados.

*“Estimar os potenciais riscos costeiros com o aumento do nível do mar e tempestades costeiras e respectivos impactes nos próximos 50 a 100 anos é bastante difícil devido à falta de dados de alta resolução, dados de elevação especialmente, em muitas zonas costeiras. [...] Além disso, a recolha de dados espaciais de alta-resolução é muitas vezes dispendiosa e demorada.”* (Hennecke et al., 2004).

A disponibilidade dos dados de informação geográfica para determinada região torna-se numa consideração fundamental na escolha do método de modelação e avaliação a adoptar. Também a flexibilidade e especialização particular do utilizador do *Software* de SIG constitui um critério para a sua selecção e portanto pretende-se uma metodologia que até o utilizador menos experiente neste tipo de *Software* consiga utilizar. O método deverá ser, portanto, genérico e transferível, facilmente aplicável independentemente do local pretendido. Quanto às projecções utilizadas nos cenários de inundação mostrados pelos diferentes autores, estas revelam uma grande certeza num aumento do nível do mar de pelo menos 0,50 m para o ano de 2100, sendo este inevitável.



Neste contexto a metodologia apresentada por Kuhn *et al.* (2011) revela ser aquela que melhor se adapta às necessidades deste projecto. Este método simples, prático e eficaz permite a modelação em SIG e a concepção dos mapas de vulnerabilidade costeira a uma escala regional, utilizando apenas dados topográficos comumente acessíveis, como um modelo digital de terreno (DTM), e projecções da subida do nível do mar, não impondo, portanto, a necessidade de bases topográficas de alta resolução e/ou excessivamente dispendiosas monetariamente, sendo esta uma das grandes vantagens deste método. Além deste ser bastante versátil, pois apesar de ser inicialmente concebido para uma utilização a nível regional, é possível a sua adaptação ao nível local, sendo apenas necessário a utilização de bases de dados geográficos mais detalhadas, obtendo um resultado mais preciso quanto mais pormenorizadas forem as bases utilizadas. Além disto, o método destaca-se dos restantes pela sua flexibilidade, uma vez que pode ser facilmente aplicado em qualquer caso de estudo, mas também pela sua eficácia e rapidez na obtenção dos resultados.

É importante referir, no entanto, que a utilização deste método negligencia os processos geomorfológicos (e.g. erosão), assim como construções concebidas pelo Homem como estruturas de prevenção de cheias. Portanto, qualquer resultado de visualização obtido com este tipo de modelação só deve ser tomado como indicativo. Este tem como principal objectivo o de proporcionar uma visualização rápida das áreas afectadas pela inundação, sendo esse o objectivo de uma análise regional. Esta é uma desvantagem comum nos métodos que optam por uma abordagem numa escala de actuação ao nível regional e/ou global.

A aplicação do método no âmbito deste projecto será minuciosamente descrita no capítulo quarto.

## O SÍTIO

### CASO DE ESTUDO: ESTUÁRIO DO TEJO

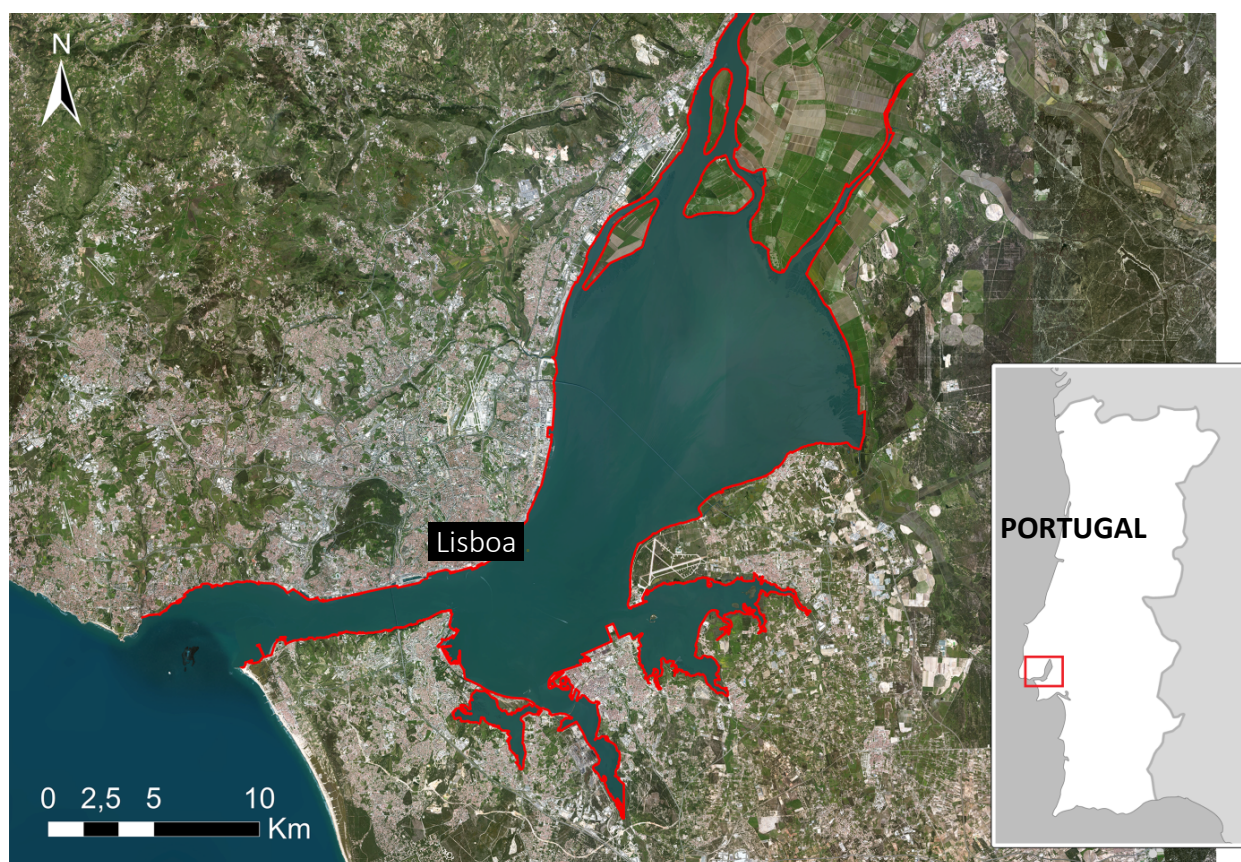
A metodologia para a criação dos mapas de vulnerabilidade, que expõem as áreas mais vulneráveis às inundações costeiras permanentes, foi aplicada no estuário do Tejo, um dos maiores e mais importantes estuários da Europa (Bettencourt *et al.*, 2003) e nos municípios que fazem fronteira com o mesmo. Este localiza-se na costa oeste Portuguesa, perto da capital: Lisboa, sendo esta uma das cidades mais importantes construídas na sua margem. A Área Metropolitana de Lisboa apresenta a maior concentração populacional do país, correspondendo a cerca de ¼ da população portuguesa. Para além de áreas naturais a sua orla estuarina suporta uma grande diversidade de ocupação humana, tais como infra-estruturas de apoio a actividades náuticas, zonas industriais, zonas agro-pecuárias e áreas urbanas (Freire *et al.*, 2012), assim como integra todas as actividades de um porto bastante importante (porto de Lisboa), fundamental para as trocas comerciais e tráfego marítimo.

O principal afluente do estuário é o Rio Tejo com um caudal médio de  $368 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este é o maior rio da Península Ibérica, nasce na Serra espanhola de Albarracin, a 1953 m de altitude e tem um comprimento de 1076 km, dos quais 273 km são em território português (Bettencourt *et al.*, 2003). O estuário ocupa uma área total de aproximadamente  $325 \text{ km}^2$ , estendendo-se desde o canal da embocadura, perto de S. Julião da Barra – Bugio, até cerca de 50 km a montante, perto de Muge, onde se localiza o limite de intrusão salina. A área submersa varia entre  $300 \text{ km}^2$  e  $340 \text{ km}^2$  consoante as marés. O estuário é controlado por um regime de maré mesotidal, com amplitudes que variam entre os 0.55 e 3.85 m em Cascais. Tanto na zona superior como na zona inferior do estuário os fundos são basicamente constituídos por sedimentos lodosos e areias, de origem fluvial e oceânica, respectivamente. As ondas geradas localmente devido ao regime de ventos locais podem atingir alturas significativas de vários decímetros (Guerreiro *et al.*, 2012). Tal como outros estuários, o estuário do Tejo é um espaço de elevada produtividade biológica, caracterizando-se pelas flutuações extremas de factores abióticos como salinidade, temperatura, correntes e turbidez. Estes factores produzem um ambiente físico e químico difícil para fauna e flora que em conjunto com a ocupação antrópica e destruição dos habitats condiciona a presença e vida dos organismos vivos. Com o aumento populacional ao longo dos anos, as margens do estuário encontram-se ocupadas, não sendo possível conhecer a sua evolução natural face às alterações climáticas.

### 3.1. Caracterização do Estuário

#### 3.1.1. Enquadramento geográfico

O Tejo, antes de desaguar no oceano Atlântico, deixa de ser um rio encaixado e desenvolve um grande estuário (Figura 3.1). O estuário do Tejo está localizado perto da capital de Portugal, Lisboa (38º 44' N, 9º 08' W), a cidade mais importante construída nas suas margens. Este é delimitado na margem norte também pelos concelhos de Loures, Oeiras e Vila Franca de Xira, e na margem sul pelos concelhos de Alcochete, Almada, Barreiro, Benavente, Moita, Montijo e Seixal. A sua localização na costa ocidental portuguesa e a proximidade da capital conferem a este estuário uma importância histórica e socioeconómica de grande relevo. Nesta proximidade com Lisboa está instalado o porto da cidade e ainda, nas suas margens, muitas áreas industriais foram sendo localizadas maioritariamente a sul. O corpo do estuário do Tejo desenvolve-se segundo a direcção NNW-SSW e o seu gargalo, a zona constrangida que antecede a foz do rio, com direcção ENE-WSW. É limitado a montante pela cidade de Muge e tem como limite jusante o alinhamento entre a Cova-do-Vapor, Bugio e Forte de S. Julião (Silva, 2013).



**Figura 3.1| Localização do Estuário do Tejo.** O traçado vermelho define a margem estuarina. Base: ortofotomapa disponível *on-line* através do *software* ArcGIS 10.

### 3.1.2. Morfologia do estuário

O estuário do Tejo apresenta uma geometria e parâmetros morfológicos bastante variáveis e significativos. Como exposto por Bettencourt *et al.* (2003), este pode ser seccionado em quatro sectores distintos: sector fluvial, sector superior, sector médio e sector inferior (Figura 3.2).

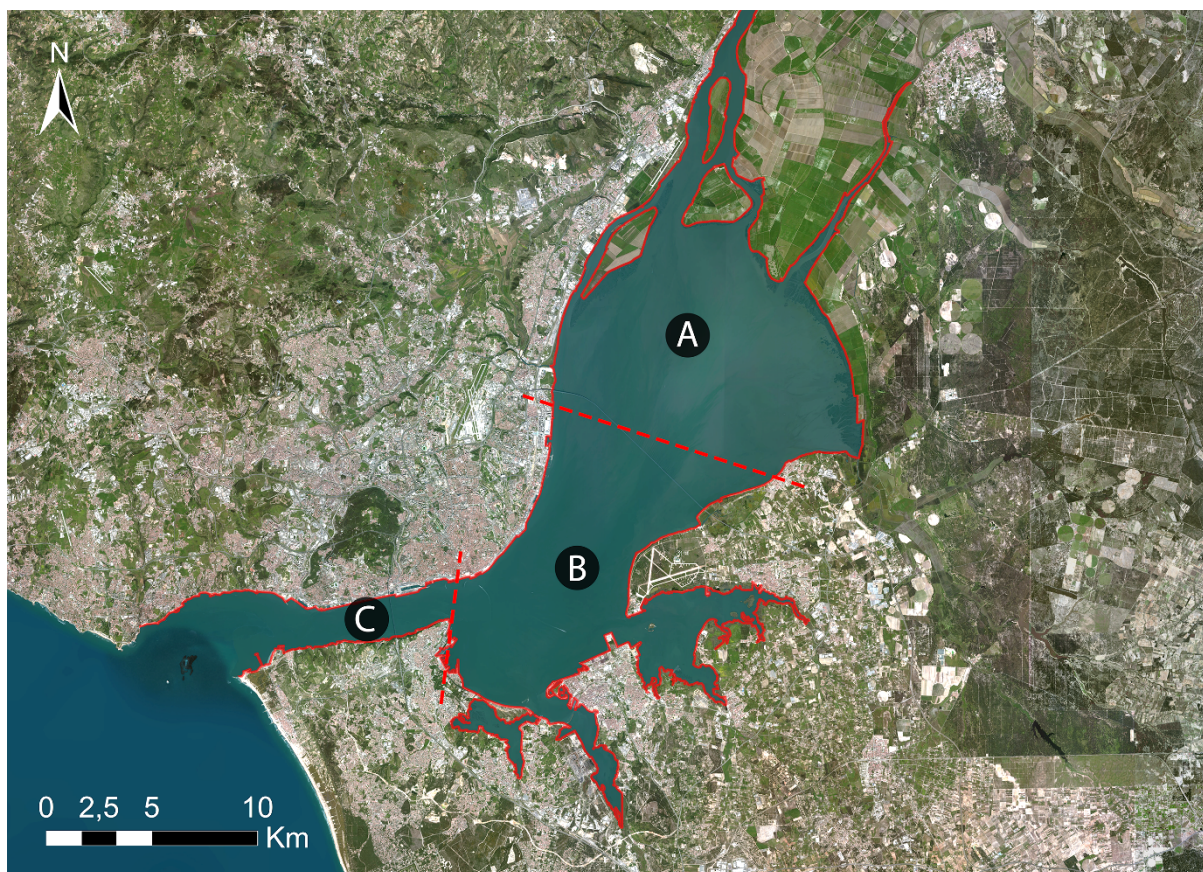
O sector fluvial, mais a montante, estende-se desde Muge até Vila Franca de Xira (cerca de 30 km) e caracteriza-se por apresentar um canal principal com aproximadamente 600 m de largura instalado numa vasta planície aluvial, estes terrenos têm uma grande capacidade produtiva e portanto constituem parte fundamental da Reserva Agrícola Nacional. Neste troço a água é doce ou de baixa salinidade e o leito do rio é composto fundamentalmente por areias (Bettencourt *et al.*, 2003).

O seguinte sector, o sector superior, compreende o estuário desde Vila Franca de Xira até Sacavém (20 km). É o sector que apresenta maior largura no estuário, com valores médios de cerca de 14,5 km. Apresenta uma morfologia semelhante à de um delta interno no estuário devido à junção do rio Sorraia e à presença dos mouchões da Póvoa, de Alhandra e do Lombo do Tejo. A profundidade média deste sector é de aproximadamente 5 m, o que aliado à grande amplitude de maré que se faz sentir no estuário, origina vastas extensões de ambientes intertidais, como rasos de maré, sapais e ostreiros, principalmente na margem sul do mesmo (Bettencourt *et al.*, 2003). Estas zonas salobras, sob influência das marés, correspondentes aos mouchões e solos salgados, constituem uma reserva quer em termos produtivos quer como reserva ecológica. É uma das zonas de maior interesse ecológico europeu, salvaguardada por legislação europeia, constituindo os seus solos um dos meios de depuração mais importantes para a qualidade da água do aquífero do Tejo. Este sector engloba também na sua quase totalidade a Reserva Natural do Estuário do Tejo, sendo a riqueza biológica desta área enorme.

O próximo sector é o sector médio e este abrange a área entre Sacavém e o terreiro do paço com uma dimensão aproximada de 15 km (Bettencourt *et al.*, 2003). Nesta secção a margem esquerda do estuário contrasta com a direita, uma vez que a primeira se encontra bastante recortada em oposição ao traçado contínuo da segunda. Este recorte revê-se sobretudo aos esteiros do Montijo e do Barreiro que aqui desaguam, dando origem a uma bacia pouco profunda designada por Mar da Palha.

Por fim, o quarto sector, designado por sector inferior, corresponde ao canal de ligação entre o estuário e o Oceano – o chamado gargalo do Tejo. Um troço rectilíneo com 7,5 km de comprimento e 1,9 km de largura, aproximadamente, que se estende desde o terreiro do Paço até ao Bugio. Esta é a zona mais profunda do estuário, chegando a atingir valores batimétricos na ordem dos 40 m de profundidade. Aqui o estuário tem características predominantemente marinhas (Bettencourt *et al.*, 2003; Silva, 2013).





**Figura 3.2| Limites marginais e morfologia do Estuário do Tejo.** A margem Norte do estuário apresenta-se com um traçado contínuo e sem grandes reentrâncias enquanto a margem Sul surge bastante mais recortada. **A)** Sector superior; **B)** Sector médio; **C)** Sector inferior. Base: ortofotomapa disponível *on-line* através do *software* ArcGIS 10.

### 3.1.3. Ocupação da margem estuarina

Os estuários apresentam desde há muito tempo uma grande aptidão para a ocupação antrópica pois constituem sistemas naturais e de transição, oferecendo recursos naturais e condições de abrigo bastante atractivos a diversas actividades antrópicas (Gomes *et al.*, 2007; ARHT, 2009). Esta ocupação sistemática das áreas estuarinas e margens adjacentes obriga à redução das zonas naturais do estuário tais como rasos de maré e sapais, que por sua vez atuam como dissipador de energia e portanto, a diminuição destas áreas potencia o risco de inundações costeiras dando origem a consequências gravosas para a população.

A tipificação da ocupação antrópica da orla estuarina foi elaborada por Freire *et al.* (2012) através da concepção de um sistema de classificação de uso simplificado baseado na nomenclatura do *Corine Land Cover* (CLC)<sup>16</sup>. A descrição da nomenclatura das classes de ocupação adoptadas nesta tipificação estão posteriormente descritas na tabela 3.1. Nesse processo foi delimitado o leito, a margem (faixa

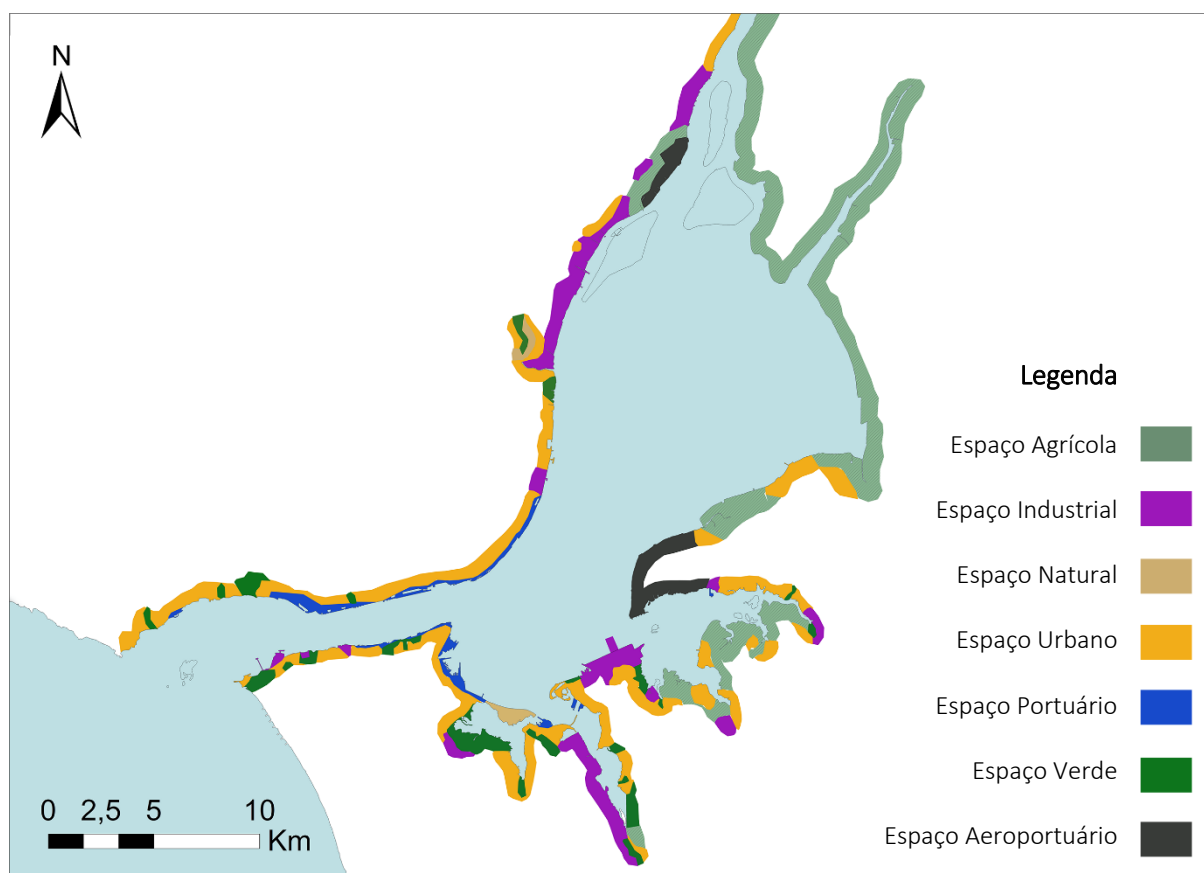
<sup>16</sup> Série cartográfica de ocupação do solo, à escala 1:100 000 c/ uma unidade mín. cartográfica de 25 ha (DGTerritório, 2014).

de 50 m a partir da linha máxima de preia mar) e a orla estuarina (faixa de 550 m a partir da anterior) sobre os ortofotomapas de 2007 do Instituto Geográfico Português (IGP).

**Tabela 3.1 | Classes de ocupação da margem estuarina.** [Fonte: Adaptada de Freire *et al.*, 2012].

Classe de Ocupação	Descrição explicativa da nomenclatura adoptada
Espaço Urbano	Áreas urbanizadas com características residenciais e de serviços e espaços de ligação (estradas, terrenos adjacentes sem utilização específica ou parques de estacionamento). Não se faz a distinção entre zona urbana continua e descontínua.
Espaço Industrial	Áreas de indústria, pavilhões, armazéns e escritórios de empresas, bem como espaços de ligação como terrenos sem utilização específica, estradas e caminhos-de-ferro.
Espaço Portuário	Áreas ocupadas por infra-estruturas portuárias civis e militares e estruturas associadas como portos, docas e marinas e edifícios associados a construção/reparação de embarcações.
Espaço Aeroportuário	Áreas ocupadas por estruturas aeroportuárias civis e militares bem como áreas conexas de apoio.
Espaço Verde	Áreas verdes com ou sem ajardinamento e equipamentos de desporto e lazer associados. Não se incluem pequenas zonas com árvores entre prédios ou pequenos logradouros ajardinados. Distinguem-se os espaços naturais, na medida em que foram intervencionados pelo Homem, perdendo as suas características naturais originais.
Espaço Agrícola	Áreas ocupadas por culturas agrícolas, permanentes ou não, por vezes misturadas com vegetação natural. Inclui Salinas.
Espaço Natural	Áreas que conservam grande parte das suas características biofísicas originais e cujas intervenções humanas não modificaram significativamente a estrutura natural.

Através desta tipificação foi possível fazer-se a caracterização biofísica do território e da sua ocupação antrópica. Os dados revelam que cerca de 43% da área total do estuário corresponde a zonas intertidais. Destas zonas, 13% são constituídas por sapal e 15% da área intertidal está ocupada com estruturas geralmente utilizadas na exploração do sal, relacionadas com o aproveitamento da energia das marés, como o caso dos moinhos de maré, ou agricultura, no caso dos mouchões (Freire *et al.*, 2012). As classes de ocupação da orla estuarina em maior percentagem são os espaços agrícolas (35%), que se explicam pela grande extensão de lezírias na zona Nordeste do estuário, e os espaços urbanos (34%), o que reflecte a localização da maior área metropolitana do país, assim como a importância dada à localização dos centros urbanos, predominantemente junto às margens. O espaço industrial ocupa 15% da margem, seguindo-se o espaço aeroportuário e o espaço verde, ambos com cerca de 6%, o espaço portuário ocupa 3% e por fim, o espaço natural que ocupa apenas 1% da margem estuarina (Figura 3.3).



**Figura 3.3| Tipificação da ocupação antrópica na orla estuarina.** [Fonte: Adaptado de Freire *et al.*, 2012]. Figura com maior resolução disponível em anexo (Anexo 4).

Pode concluir-se que a presença antrópica nas margens do estuário é bastante significativa. O ensaio elaborado por Freire *et al.* (2012) revela que cerca de 7% das margens se encontram actualmente ocupadas por estruturas antrópicas, enquanto cerca de 60% é espaço ocupado por áreas urbanas e industriais (incluindo as áreas portuárias e aeroportuárias) e apenas 7% se destina às áreas verdes e naturais. Tendo em conta os valores apresentados torna-se evidente a exposição destas zonas aos possíveis riscos causados pelas alterações climáticas e consequente subida do nível do mar.

### 3.2. Evolução Demográfica

A Área Metropolitana de Lisboa constitui a região do país que regista a maior concentração populacional (Soares & Domingues, 2003). Esta distribui-se de diferentes formas. As tipologias de tecido urbano vão desde aglomerados urbanos consolidados até áreas destruturadas e fragmentadas, onde se torna claramente visível a falta de planeamento das mesmas.

Os municípios abrangidos na área de estudo são apenas aqueles que, estando incluídos no plano de ordenamento do território da Área Metropolitana de Lisboa, usufruem da situação de interface

com o estuário do Tejo, sendo que, na margem Norte do rio são considerados para este estudo os municípios de Oeiras, Lisboa, Loures e Vila Franca de Xira. Enquanto na margem Sul os municípios estudados são Almada, Seixal, Barreiro, Moita, Montijo e Alcochete.

Na margem Norte do estuário, o crescimento urbano desenvolveu-se para o interior da península de Lisboa segundo quatro eixos urbanos: Cascais, Sintra, Odivelas e Vila Franca de Xira. A evolução destes quatro eixos de crescimento desenvolveu-se sobretudo com a construção de infra-estruturas lineares (ferro e rodovias como a A5, IC19, A8 e A1) transformando estes corredores urbanos em subúrbios da cidade de Lisboa. Na margem Sul, o desenvolvimento das áreas urbanas foi mais tardio e crescimento teve origem na frente ribeirinha do Tejo ou imediatamente no seu prolongamento para o interior, partindo dos centros urbanos de carácter histórico. Com a construção da Ponte 25 de Abril, a 1966, a península de Setúbal foi crescendo motivada pelo novo corredor de acesso a Lisboa (A2) e pelo desenvolvimento industrial. A este crescimento adicionou-se a expansão urbana motivada pela construção da segunda travessia do Tejo, a Ponte Vasco da Gama, e do corredor da A12 em 1998, e o equipar da Ponte 25 de Abril com a componente ferroviária em 1999 (Soares & Domingues, 2003).

Presentemente a população na AML a Sul do Tejo tende a atingir o equilíbrio com a população a Norte, onde o aumento demográfico, motivado pelo êxodo rural e acrescendo a falta de planeamento urbano, deu origem a uma malha urbana desorganizada, pouco ou nada infra-estruturada e com aglomerados de génese ilegal. Neste sentido, os aglomerados urbanos mais antigos, estabilizados, ou que tiveram maior desenvolvimento de actividades económicas, tendem a apresentar-se mais consolidados e estruturados, constituindo as designadas áreas urbanas. Estas são mais predominantes em municípios mais desenvolvidos e com carácter industrial. Nos municípios com carácter mais rural e agrícola, os espaços urbanos são mais reduzidos e dispersos, motivados por uma maior distância a nível de acessibilidades a Lisboa durante muito tempo, que só começou a ser contrariado com a Ponte Vasco da Gama.

As áreas industriais predominam na periferia do estuário. Na margem Norte d mesmo, o desenvolvimento industrial iniciou-se numa primeira fase ao longo da frente-rio, devido à fácil mobilidade promovida pelo Tejo. Neste sentido, surgiram as áreas industriais de Alcântara e entre Santa Apolónia e a foz do Trancão, assistidas pela actividade portuária. Actualmente estas áreas remetem-se apenas para a zona portuária de Alcântara e à frente-rio entre Santa Apolónia e Braço de Prata. Também na margem Sul, devido à fácil mobilidade impulsionada pelo rio, os polos industriais foram implementados junto à frente-rio dos aglomerados urbanos de maior dimensão, de que são exemplo maior a CUF (Companhia União Fabril) no Barreiro, a Siderurgia Nacional no Seixal e as áreas ocupadas pela Lisnave em Almada.



Actualmente, nos municípios em estudo, o número total de habitantes é cerca de 1 607 676 (Dados do Instituto Nacional de Estatística). A evolução da população nos municípios de interface com o estuário do Tejo decorreu a um ritmo de crescimento pouco uniforme. Verificou-se um aumento na década de 60 motivado pelo êxodo rural para os grandes centros urbano-industriais do litoral e pelo regresso dos portugueses das ex-colónias. Com a crise no sector industrial de 1969 os operários industriais retornam às suas terras de origem devido à falta de emprego e a população diminui bastante. Após a década de 70 o ritmo de crescimento abrandou significativamente, acompanhando a estabilização do ritmo de crescimento que se tem vindo a assistir nas grandes áreas metropolitanas europeias (Soares & Domingues, 2003) (Tabela 3.2).

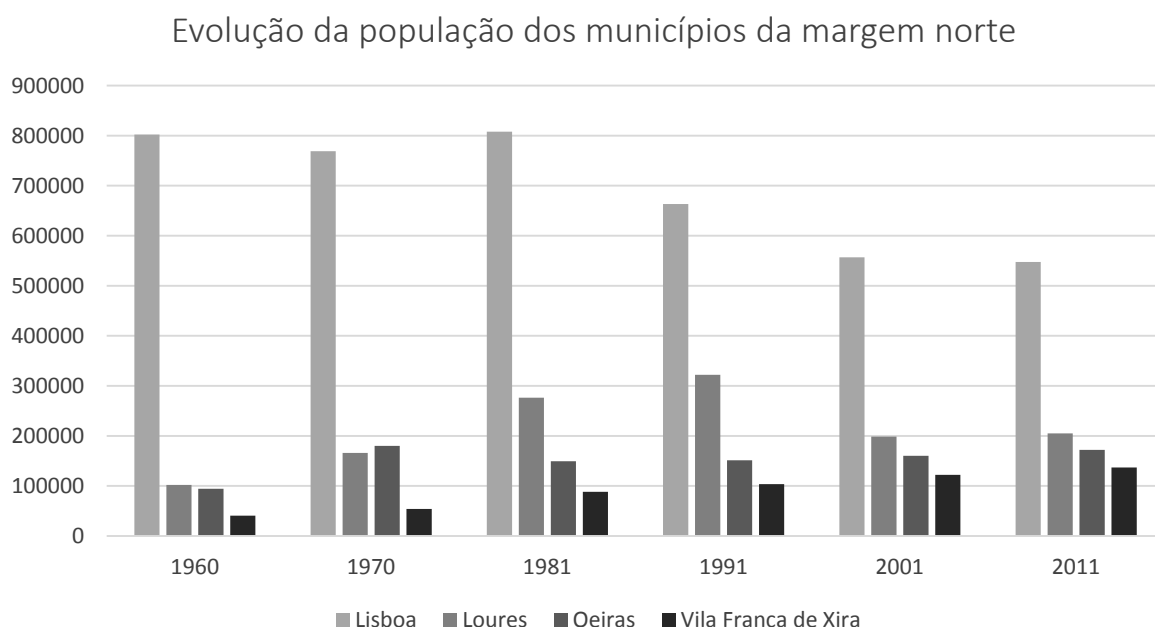
**Tabela 3.2| Evolução demográfica dos municípios de interface com o estuário do Tejo.** Numero total de habitantes por município (pertencente à AML). Dados do Instituto Nacional de Estatística.

Município	1960	1970	1981	1991	2001	2011
Lisboa	802 230	769 044	807 937	663 394	556 797	547 733
Loures	102 124	166 167	276 467	322 158	198 685	205 054
Oeiras	94 255	180 194	149 328	151 342	160 147	172 120
Vila Franca de Xira	40 594	53 963	88 193	103 571	122 235	136 886
Alcochete	9 270	10 408	11 246	10 169	12 831	17 569
Almada	70 968	107 581	147 690	151 783	159 550	174 030
Barreiro	35 088	58 728	88 052	85 768	78 146	78 764
Moita	29 110	38 547	53 240	65 086	67 064	66 029
Montijo	30 217	41 565	36 849	36 038	38 541	51 222
Seixal	20 470	36 280	89 169	116 912	150 095	158 269

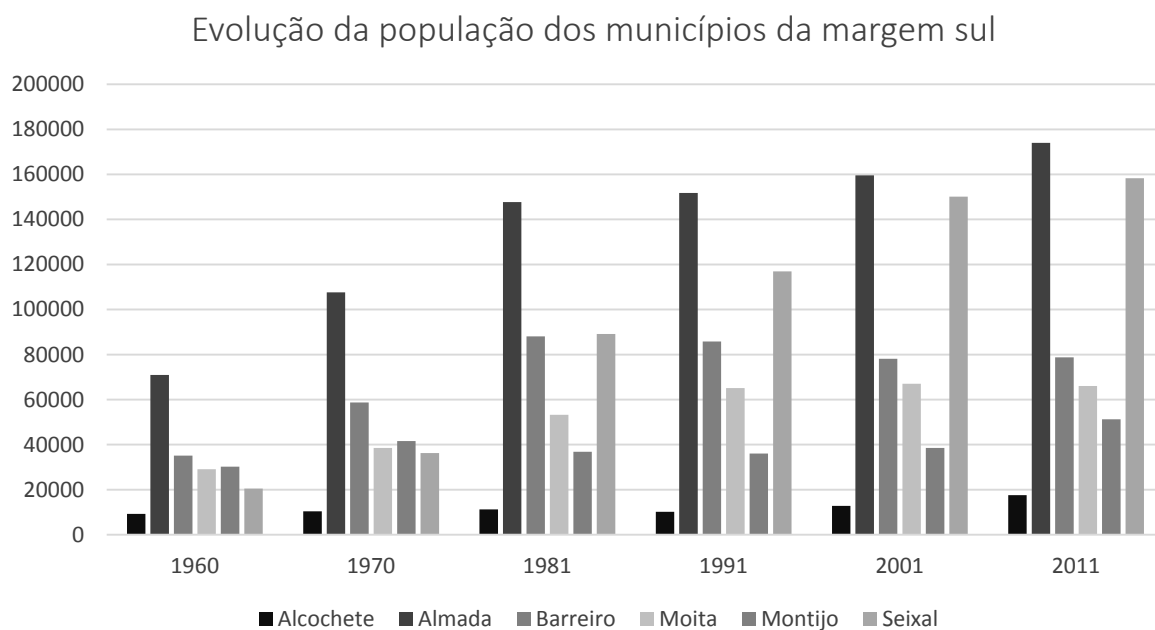
Verifica-se que o município de Lisboa é aquele que apresenta maior densidade populacional e, apesar de ter uma área reduzida comparativamente aos restantes municípios, o seu número de habitantes continua a ser o mais elevado. No entanto é de notar um pequeno decréscimo desde a década de 70 (Gráfico 3.1).

Na margem Sul do estuário destacam-se os municípios de Almada e Seixal com o maior número de habitantes e Alcochete com menor população (Gráfico 3.2). Almada a partir dos anos 40 teve um aumento no número de população cerca de sete vezes maior. Este fenómeno deveu-se, nas primeiras

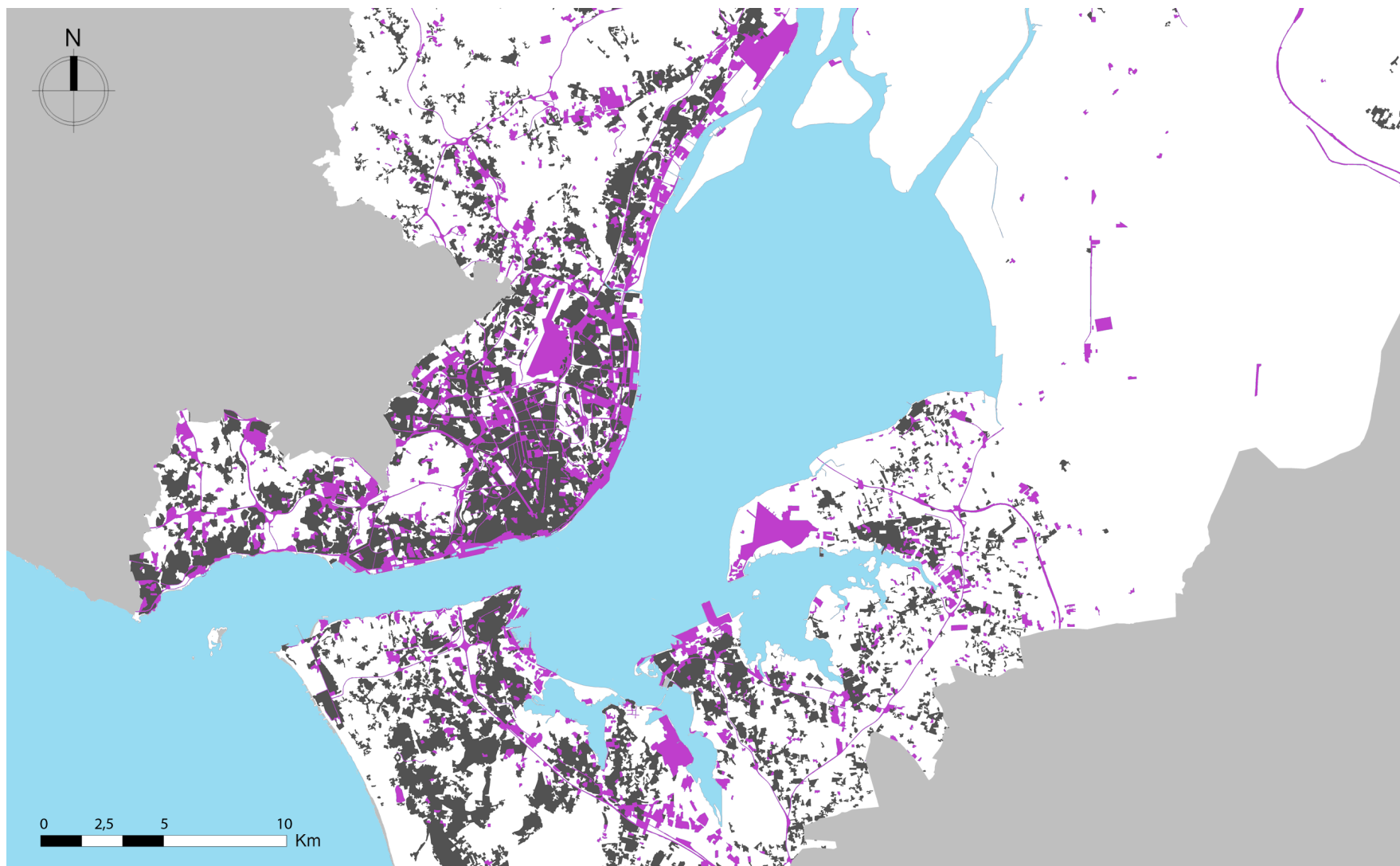
décadas, pela imigração de operários de origem rural, e após os anos 60 pela melhoria nas condições de acessibilidade, motivadas pela abertura da Ponte 25 de Abril.



**Gráfico 3.1| Evolução da população dos municípios da AML (Margem norte).** Dados do Instituto Nacional de Estatística..



**Gráfico 3.2| Evolução da população dos municípios da AML (Margem Sul).** Dados do Instituto Nacional de Estatística.



**Figura 3.4| Densidade populacional dos municípios que circundam o estuário do Tejo.** A negro está representado o Tecido Urbano (contínuo e descontínuo), enquanto a roxo está representado o Comércio, Indústria e Transportes. Dados obtidos da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 - COS2007 (Direcção-Geral do Território).

É possível verificar também que os municípios com carácter marcadamente industrial: Almada, Barreiro e Seixal, apresentam um número de residentes superior aos municípios de carácter agrícola: Alcochete, Moita e Montijo. Destaca-se o facto de o Barreiro apresentar um decréscimo da população ao contrário do Seixal que viu o seu número de habitantes duplicar durante a década de 70 e crescer ao ritmo de cerca de 30 000 habitantes por década. Nos municípios de forte carácter rural verifica-se um aumento gradual da população, destacando-se o município da Moita cujo crescimento se deve ao desenvolvimento urbano acentuado na freguesia da Baixa da Banheira, por influência da sua proximidade com o município do Barreiro e ao desenvolvimento industrial deste concelho. Contrariando esta tendência destaca-se o município de Montijo, cuja população sofre um decréscimo entre 1970 e 1991, voltando a aumentar após essa data.

Esta diferença populacional pode também ser verificada através da densidade e dimensão do tecido urbano, assim como do comércio, indústria e transportes (Figura 3.4), onde claramente se repara que a cidade de Lisboa apresenta maior densidade. Nos municípios de carácter industrial o tecido urbano é também mais denso e extenso, em oposição aos municípios de carácter agrícola, onde o este se torna mais disperso e de menor dimensão.

### **3.3. Património**

O estuário do Tejo integra um conjunto de enorme valor paisagístico e histórico-cultural em praticamente toda a sua extensão. Uma elevada riqueza paisagística, caracterizada por ambientes de transição entre o meio aquático e o meio terrestre carregados de traços culturais comuns à região natural e paisagisticamente ligados ao rio, onde se destacam o património marítimo-fluvial, material e imaterial, e o património industrial, como os moinhos de maré que se distribuem ao longo da margem sul do estuário. Nos concelhos de interface com o rio podemos encontrar uma enorme riqueza de quintas agrícolas e abundância em elementos patrimoniais arquitectónicos construídos, na sua maioria, classificados. No entanto, o património histórico-cultural aqui apresentado, sobretudo pela sua relação primordial com o rio mas também pela proximidade do mesmo, encontra-se maioritariamente associado às actividades praticadas no estuário por uma povoação ribeirinha, tais como o transporte fluvial ou actividades piscatórias.

A margem sul do estuário do Tejo mostrou-se bastante rica economicamente durante vários séculos, quer pelo seu espaço fluvial e facilidade em transporte como pela sua riqueza piscícola e produção de alimentos, contribuindo assim para um grande desenvolvimento nesta zona do país. Intimamente ligada à capital, esta margem actuava como um mercado abastecedor da cidade de Lisboa, fornecendo-lhe grandes quantidades de alimentos, matérias-primas e outros produtos. A

actividade florestal teve também um papel importante na economia local, uma vez que nesta zona existiam vastas áreas de pinhal e sobreiral, que forneciam a madeira necessária a muitas actividades, desde a construção naval até à lenha utilizada nas pequenas indústrias. Estas desenvolveram-se bastante principalmente pela sua proximidade com a capital, no entanto a facilidade de transporte, matérias-primas e lenha também actuaram como factores determinantes para este rápido desenvolvimento. O tipo de indústria era bastante variado, indo desde a moagem, fornos de cal<sup>17</sup>, fornos de vidro, de cerâmica, de breu, industrias ligadas à construção naval – estaleiros – e fábricas de pão e biscoito.

Uma margem de extrema riqueza exaltada pelo historiador, humanista e sacerdote Gaspar Frutuoso: “[...] e d’alem Tejo, a villa do Seixal, onde há os melhores vinhos do Reino [...] e a villa d’Alcochête, quasi defronte da Povia, onde estão os fornos de vidro e um mosteiro de capuchos [...] e d’alem Tejo, duas léguas d’Alcochête, Montijo, bôca de um braço, que faz muitos, junto do primeiro dos quaes vira a villa d’Aldeia Galega, desejado embarcadouro para quem vae de Lisbôa para Alemtejo [...] e logo a Lançada e Sarilhos, e outro Sarilhos Pequeno; a Quinta de Martim Afonso e o logar da Moita; e d’ali meia légua e outro tanto do Montijo, a villa de Alhos Vedros, que foram d’antes verdes; e mais adeante meia légua o Lavradio, freguezia, e a villa do Barreio, e as freguezias Telhaes e Palhaes, e os moinhos e fornos d’El Rei, cousa rica, Verderena e a villa de Coia, e perto a rica Quinta dos religiosos de belém: o Seixal, chamado também Arrentela, onde se dão muitos bons vinhos de carregação para a India, em cuja enseada invernam muitos navios; logo Amóra, freguezia; em Corroios outra, em outro braço do rio, e Motela, termo de Almada, onde estão os moinhos e lavadouro de Lisbôa; e logo junto Cacilhas, d’onde começa o vale de Mourelos, de compridão de uma légua, que vae até Caparica [...] e logo a afamada villa de Almada, da qual até Aldeia Galega, que atraz fica há seis léguas, em que haverá perto de sessenta moendas que móem de maré, e há bons vinhos e muita lenha de pinho, de rama e tronco, que em barco levam para Lisbôa [...]”.<sup>18</sup>

Frutuoso (1924) evidencia neste excerto a importância da margem sul do Tejo no abastecimento das numerosas naus que partiam em expedições de Lisboa na época dos descobrimentos (séculos XV a XVII). Desde os *melhores vinhos do Reino* produzidos no Seixal, à *lenha de pinho, de rama e tronco* provenientes de Almada, onde se contavam pelo menos sessenta moendas de moinhos de maré, também presentes na *villa do Barreiro* e usados na moagem de farinhas e cereal. O património histórico-cultural relacionado com a expansão ultramarina surge com grande significado, mantendo uma relação de proximidade com o estuário do Tejo. Muito do património descrito ainda se encontra presente na paisagem actual, contudo, num menor estado de conservação.

---

<sup>17</sup> Os fornos de cal foram muito importantes. As muralhas fernandinas consumiram muita cal aquando da sua construção. (Santos 2001).

<sup>18</sup> Gaspar Frutuoso, *Saudades da Terra*, Livro IV, Vol. I, Ponta Delgada, Tip. do Diário dos Açores, 1924, p. 244.

### *Património marítimo-fluvial*

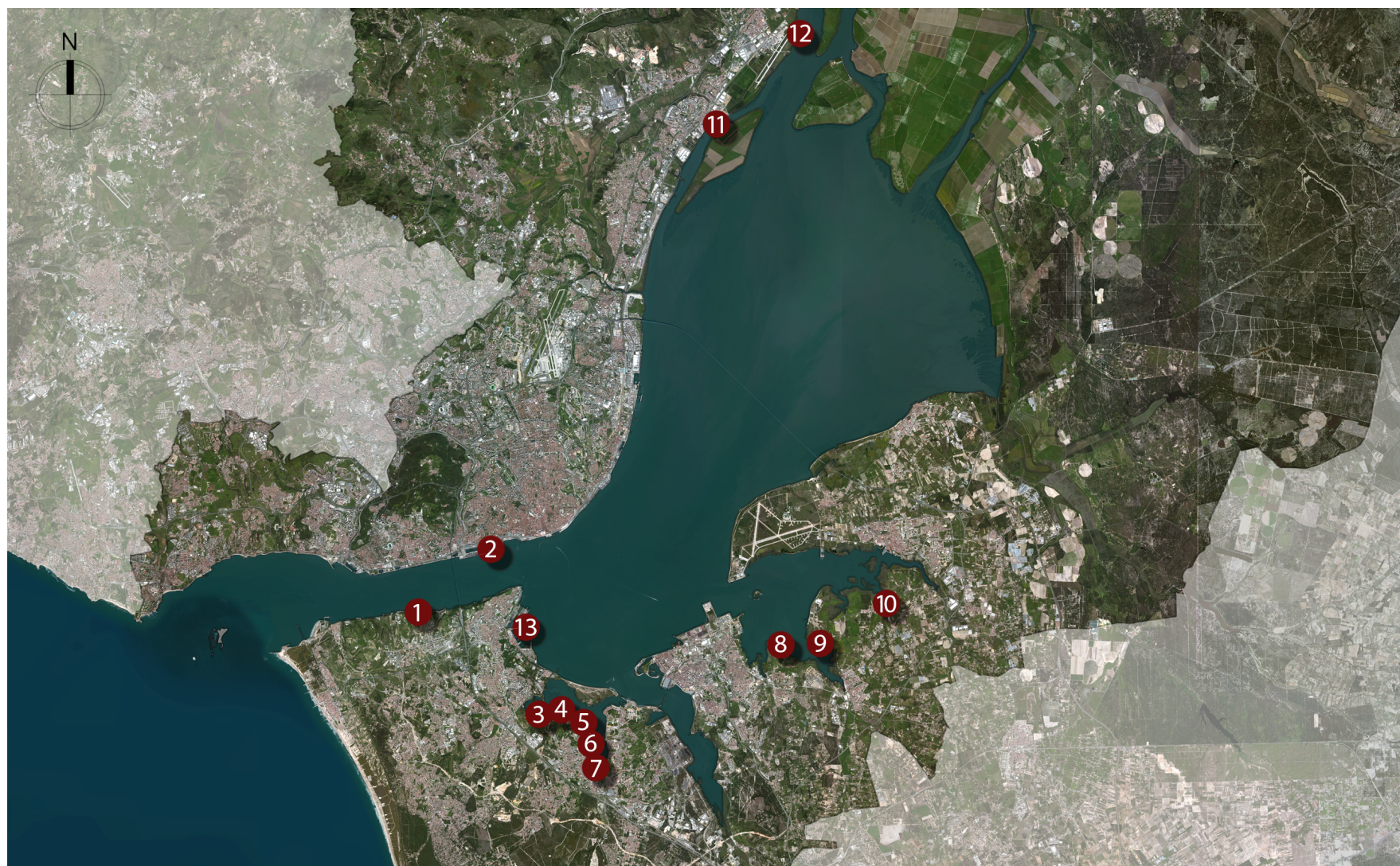
Desde muito cedo que o Tejo foi a principal via de comunicação do país e uma porta aberta para o mundo. Este acarreta uma enorme herança histórica e desempenhou um papel que mais nenhum outro rio conseguiu igualar: a expansão marítima portuguesa, e do próprio continente europeu, revolucionando as relações económicas e culturais entre todos os continentes.

Num período mais recente, durante o séc. XIX e primeira metade do séc. XX, o transporte de pessoas e mercadorias era assegurado pela diversidade de veleiros de carga tradicionais e o património marítimo-fluvial começa a surgir deixando uma marca profunda na relação histórica e cultural. As viagens eram rápidas, seguras e económicas e a construção naval ganhou importância na vida local dos concelhos ribeirinhos. As embarcações apresentam-se como o elemento patrimonial mais representativo desta cultura e a sua diversidade constitui um dos mais importantes conjuntos patrimoniais flutuantes de Portugal e da Europa (e.g. Varinos, Fragatas ou Faluas). Na primeira metade do séc. XX o estuário do Tejo representava o pilar do desenvolvimento de um amplo conjunto de actividades, afirmando-se como um elo de ligação fulcral para a região de Lisboa. Pelas embarcações tradicionais de carga destacavam-se as actividades de abastecimento da cidade de Lisboa, assim como as operações de carga e descarga dos navios de grande porte ancorados no porto da capital, e por fim, o transporte de e para o mesmo porto de uma vasta gama de mercadorias desde matérias-primas até produtos acabados (tais como sal e vinho, açúcar, cereais ou carvão) (Fernandes & Pinto, 2013).

Segundo Nabais (2009), são as funções das embarcações, as suas áreas de operação e o estilo próprio de cada estaleiro e povoação, que explica a grande diversidade existente nas embarcações tradicionais portuguesas. As funções das embarcações explicam esta diversidade devido às diferentes procura de transporte fluvial, tendo como exemplo a embarcação Cangueiro que apresenta características técnicas que decorriam da especificidade do serviço de transporte de materiais de construção (Fernandes & Pinto, 2013). As áreas de operação determinam a diversidade e o desenvolvimento de adaptações técnicas nas embarcações devido às condições naturais do estuário do Tejo, como o caso dos Varinos, que por terem um fundo chato é-lhes possível a navegação nas águas pouco profundas e a entrada nas margens recortadas do estuário. O estilo próprio deve-se sobretudo ao facto deste tipo de embarcações ser construído em grande medida e sem recurso a planos geométricos de construção, onde eram utilizados os moldes próprios de cada estaleiro. Uma vez que as margens do estuário eram fortemente povoadas por estaleiros navais de construção e reparação (Figura 3.5), torna-se evidente o motivo pelo qual existe um elevado número de embarcações com características técnicas diferenciadas.

Com o aparecimento em 1820 de novos transportes fluviais movidos a vapor e o desenvolvimento das linhas ferroviárias e maior utilização do automóvel, as embarcações tradicionais entraram em desuso, pois tornaram-se inviáveis do ponto de vista económico e de capacidade operacional. Esse facto deu origem a uma crise no sector da construção naval de embarcações de madeira, perdendo-se, gradualmente, um extenso e valioso património marítimo (Nabais, 2009).





**Figura 3.5| Estaleiros do estuário do Tejo.** 1) Estaleiro Gouveias; 2) Naval Rocha, Sociedade de Construção e Reparação Navais; 3) Estaleiro Lopes e Fonseca; 4) Estaleiro Iatamoto/Sulmar; 5) Estaleiro Cecílio & Sanfins; 6) Estaleiro Venamar; 7) Estaleiro Socarmar; 8) Baptista e Irmãos, Lda; 9) Reparações Artesanais José F. Lopes e João José Castro (semidesactivado); 10) Reparações Artesanais Jaime Ferreira da Costa e Filhos; 11) Estaleiro da Somague; 12) Estaleiro da Argibay (desactivado); 13) Estaleiros Navais de Lisboa (Lisnave). Base: ortofotomapa disponível *on-line* através do *software* ArcGIS 10 [Fonte: Adaptado de Pinto, 2008].

### *O Património industrial*

Os primeiros apontamentos de moinhos de maré em Portugal datam do final do século XIII, em pleno regime feudal, característica da idade média, e o seu aumento regista-se a partir da revolução pela independência de 1382 a 1385 (Santos, 2001).

No caso concreto do estuário do Tejo, o aumento desses moinhos está directamente relacionado com a expansão ultramarina. Este ocorre a partir do séc. XV, na época dos descobrimentos, uma vez que surge a necessidade de dispor de grandes quantidades de farinha para a produção de biscoito<sup>19</sup>, necessário como base alimentar para as tripulações das naus (Santos, 2001).

Em meados do séc. XV é construído, a mando do Rei, o complexo industrial de Vale do Zebro. Localizado na margem direita do rio Coima, era constituído por 27 fornos de biscoito, 1 moinho, cais de embarque, onde eram efectuados os carregamentos e descarregamentos, e armazéns para o trigo. Faziam ainda parte deste complexo uma Quinta e pinhal, casas para os trabalhadores, oficinas, hortas e terras sem cultivo. Estes tinham como principal propósito o de fornecer alimento para as armadas portuguesas, assim como para os colonos das terras conquistadas pela expansão portuguesa (Santos, 2001; Ventura, 2007).

Este complexo industrial actuou como o impulsionador para a construção de tantos moinhos de maré nesta margem do estuário, uma vez que a procura por farinha ia sendo cada vez maior e os sistemas tradicionais de moagem não conseguiam satisfazer esse aumento na procura.

O moinho de maré surge como resposta a essa necessidade crescente. O seu funcionamento simples através da retenção da água em caldeiras e da sua posterior libertação – tirando partido da amplitude das marés – fazia trabalhar o sistema de moagem utilizando um tipo de energia cinética inesgotável. Consegua, de forma quase automática, funcionar ciclicamente e obter elevados níveis de produção de farinhas (Nabais, 1986).

Como tal, este tipo de indústria era estrategicamente construído em espaços muito próprios. Nunca em zonas directamente batidas pelo mar, mas sim em orlas marítimas, em geral estuários e zonas abrigadas. A margem recortada a sul do Tejo oferecia portanto as condições óptimas à construção e instalação dos moinhos de maré. Na sua margem esta bacia forma vários braços de rio que apresentam características próprias, nomeadamente águas calmas, terrenos alagadiços e zonas baixas, tornando fácil estabelecer-se as diferenças de nível entre a caldeira e o rio necessárias para por em funcionamento os moinhos no refluxo das marés.

---

<sup>19</sup> O biscoito era a base alimentar das tripulações. Consistia num pão de farinha de trigo, de forma achatada, cozido no forno duas, três ou mais vezes, de modo a assegurar-lhe a durabilidade das suas qualidades alimentares (pela desidratação) e assim conservar-se durante meses.



A margem sul do Tejo, por reunir estas condições, apresenta uma grande concentração de moinhos de maré. Contudo, supõe-se terem existido pelo menos três moinhos na margem norte: dois na zona de Alcântara e um em Alhandra (Santos, 2001).

Segundo registos obtidos em Memórias Paroquiais<sup>20</sup>, com o terramoto de Lisboa de 1755, grande parte dos moinhos de maré construídos cederam, ficando totalmente destruídos. A partir dessa data, muitos foram reconstruídos, reparados ou alterados.

Em 1838, António Lopes da Costa e Almeida mostra pela primeira vez interesse neste tipo de construções, com a sua proposta de reedificar e classificar como monumento histórico o complexo industrial de Vale do Zebro (Santos, 2001). Ainda no mesmo século é utilizada, por Sousa Viterbo, a expressão de arqueologia industrial referindo-se aos moinhos e propondo o estudo desse património. O interesse específico nos moinhos de maré surgiu a partir dos anos 60, tanto em Portugal como no estrangeiro, dando origem a estudos de reflexão sobre o aproveitamento da energia das marés, o impacto ambiental e as suas origens (Santos, 2001). A arqueologia industrial é mais tarde oficialmente reconhecida, na década de 80, pela Secretaria de Estado da Cultura que a integra no departamento de Arqueologia do Instituto Português do Património Cultural. Como tal, recai sobre este tipo de construções um estatuto de protecção.

A legislação nacional é aplicada segundo convenções nacionais e internacionais, sendo que a lei actualmente em vigor foi definida em 1985, a Lei n.º 13/85, conhecida como lei do Património Cultural Português. Quem define os critérios de classificação é o Instituto Português do Património Arquitectónico e Arqueológico, criado em 1992, pelo Decreto-Lei n.º 106-F/92, em substituição do anterior Instituto Português do Património Cultural.

A lei 13/85 estabelece uma série de definições, regras e imposições para os imóveis classificados ou em vias de classificação. Cabe às autarquias através dos seus planos municipais, executar um levantamento de todo o património existente e reunir definições e critérios de intervenção para a conservação, restauro e protecção do mesmo. Devem ainda, junto das entidades competentes, reunir condições necessárias à sua eventual classificação.

Os moinhos de maré do estuário do Tejo (Tabela 3.3) constituíram assim unidades económicas de extrema importância aquando da sua construção e anos seguintes. Tiveram uma presença em todo o estuário (Figura 3.8) demasiado marcante, grandes construções constituídas por sólidas estruturas, que revelavam indícios de uma pré-industrialização (Nabais, 1986; Santos, 2001; Nabais, 2009).

---

<sup>20</sup> Escritos realizados por padres de várias paróquias em que registam acontecimentos das suas freguesias (Santos, 2001).

Uma vez que o património industrial só muito tardiamente foi reconhecido, muitas destas construções foram negligenciadas e danificadas, portanto, actualmente, a grande maioria dos moinhos de maré encontra-se em avançado estado de deterioração e abandono com pequenas excepções de alguns moinhos que foram restaurados.



Figura 3.6| Moinho de maré do Capitão, Seixal. [Foto: Cristina Castel-Branco, 2014].



Figura 3.7| Moinho de maré da Passagem, Seixal. [Foto: Cristina Castel-Branco, 2014].

**Tabela 3.3| Inventário dos moinhos de maré do estuário do Tejo.** Alguns destes moinhos foram totalmente destruídos, não existindo actualmente nenhum vestígio dos mesmos no local original (assinalados com sombreado cinza). [Fonte: Adaptado de Santos, 2001].

Refª	Designação	Concelho	Local	Esteiro
1	Moinho de Alcântara	Lisboa	Alcântara	Alcântara
2	Moinho do Mesquitela	Almada	Cacilhas	Praia da Muleta
3	Moinho de Corroios	Seixal	Corroios	Rio Judeu
4	Moinho do Galvão	Seixal	Ponta dos Corvos	Rio Judeu
5	Moinho do Capitão	Seixal	Ponta dos Corvos	Rio Judeu
6	Moinho da Passagem	Seixal	Ponta dos Corvos	Rio Judeu
7	Moinho da Torre ou do Caldas	Seixal	Ponta dos Corvos	Rio Judeu
8	Moinho do Porto da Raposa	Seixal	Torre da Marinha	Rio Judeu
9	Moinho da Arrentela	Seixal	Arrentela	Rio Judeu
10	Moinho Velho dos Paulistas	Seixal	Paio Pires	Rio Coina
11	Moinho Novo dos Paulistas	Seixal	Paio Pires	Rio Coina
12	Moinhos do Descanso ou do Breyner	Seixal	Paio Pires	Rio Coina
13	Moinhos do Descanso ou do Breyner	Seixal	Paio Pires	Rio Coina
14	Moinho da Qtª da Palmeira	Seixal	Paio Pires	Rio Coina
15	Moinho da Qtª Nova da Palmeira	Seixal	Paio Pires	Rio Coina
16	Moinho do Zeimoto	Seixal	Coina	Rio Coina
17	Moinho de Coina	Barreiro	Coina	Rio Coina
18	Moinhos dos Fornos D'El Rei	Barreiro	V. do Zebro	Rio Coina
19	Moinho de Palhais	Barreiro	Palhais	Rio Coina
20	Moinho de Maricoa	Barreiro	Telha	Rio Coina
21	Moinho do Duque	Barreiro	Telha	Rio Coina
22	Moinho da Verderena 1	Barreiro	Verderena	Rio Coina
23	Moinho da Verderena 2	Barreiro	Verderena	Rio Coina
24	Moinho do Cabo da Lenha	Barreiro	Alburrica	Rio Coina
25	Moinho Grande	Barreiro	Alburrica	Rio Coina
26	Moinho Pequeno	Barreiro	Alburrica	Rio Coina
27	Moinho do Bramncamp	Barreiro	Alburrica	Tejo
28	Moinho de Alcoitão	Barreiro	Lavradio	Tejo
29	Moinho do Cais	Moita	Alhos Vedros	Tejo
30	Moinho Novo	Moita	Alhos Vedros	Tejo
31	Moinho da Xarroqueira	Moita	Moita	Tejo
32	Moinho do Alimo	Moita	Moita	Tejo
33	Moinho do Gaio	Moita	Moita	Tejo
34	Moinho da Qtª do Rosário	Moita	Moita	Tejo
35	Moinho da Qtª do Esteiro Furado	Moita	Moita	Tejo
36	Moinho dos Termos	Moita	Moita	Tejo
37	Moinho da Qtª da Lançada	Montijo	Lançada	Tejo
38	Moinho das Assentas	Montijo	Montijo	Tejo
39	Moinho do Cais	Montijo	Montijo	Tejo
40	Moinho do Meio	Montijo	Montijo	Tejo
41	Moinho do Cabo	Montijo	Montijo	Tejo
42	Moinho de Alhandra	Vila Franca	Alverca	Tejo





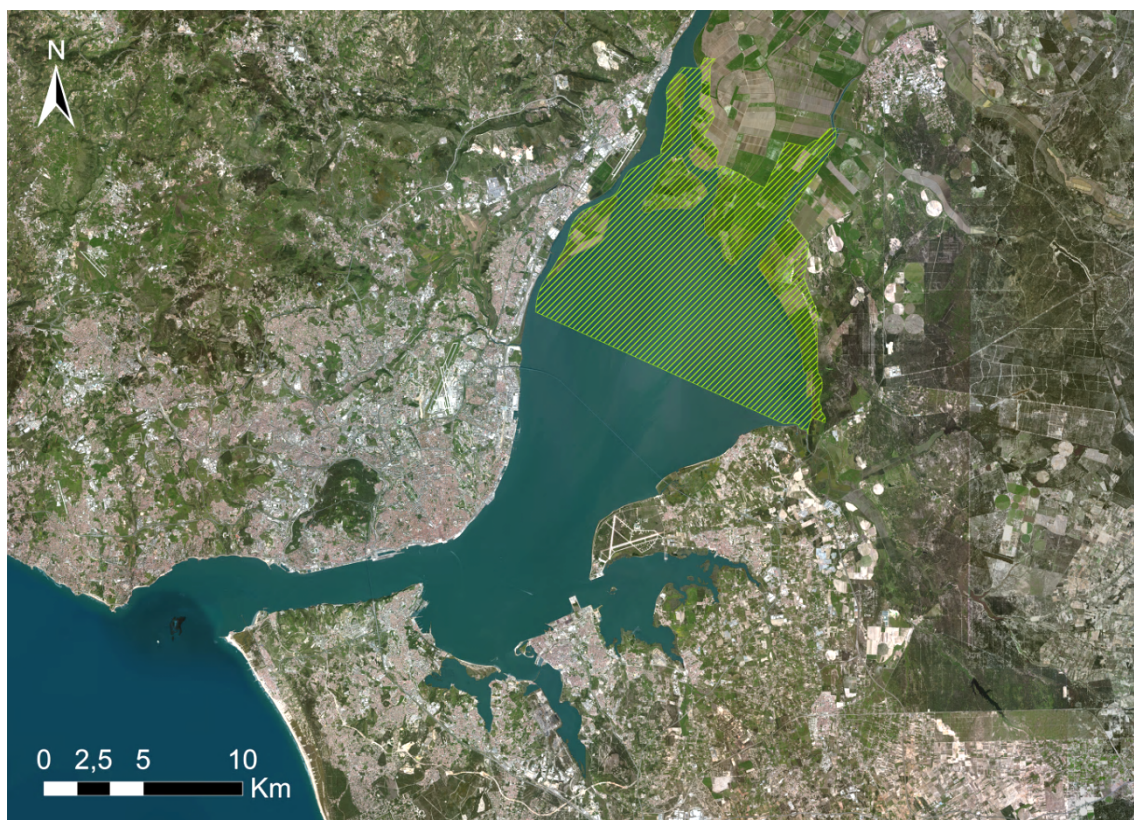
**Figura 3.8| Localização dos moinhos de maré do estuário do Tejo.** Alguns destes moinhos foram totalmente destruídos, não existindo actualmente nenhum vestígio dos mesmos no local original. Neste levantamento não está representado um moinho da margem norte do estuário, o de Alhandra, uma vez que a esta escala não era possível. Base: ortofotomapa disponível *on-line* através do *software* ArcGIS 10.

Outra actividade predominante neste estuário foi a produção de sal, em que os primeiros registos históricos remontam a 1274 (ICNF, 2014). A actividade salineira foi durante milénios uma das principais fontes de rendimento da região e do país. Alcochete foi o maior centro de produção de sal mas a exploração também se fazia na Aldeia Galega (Montijo), Moita (no Gaio), Alhos Vedros e Lavradio. As salinas, situadas na margem direita do Tejo, junto à vila de Alcochete, Rosário, Alhos Vedros e à Reserva Natural do Estuário do Tejo, representavam a grande riqueza natural da região. Constituem as estruturas físicas de uma actividade que moldou a paisagem e era detentora de uma cultura própria, transmitida de geração em geração. Esta foi uma das actividades mais relevante. Em virtude da sua dimensão, estas salinas tinham um importante peso na economia, uma vez que parte do sal, extraído em abundancia, era exportado para o estrangeiro. O restante era transportado para o cais de Lisboa, pelos barcos do Tejo, a partir do qual eram abastecidos os bacalhoeiros que pescavam no mar do Norte. Actualmente a salina da fundação João Gonçalves júnior é a única que se mantém activa, progressivamente foi-se verificando a desactivação das restantes, uma vez que os meios de conservação de alimentos tiveram um progresso registado e devido à exportação de sal do exterior. (ICNF, 2014). A cultura de ostra foi também uma das actividades lucrativas da margem sul do estuário. Os seus viveiros estendiam-se pelos esteiros, junto às salinas e na Ilha do Rato. A produção decorreu até meados dos anos 60, ostras que forneciam os mercados de Lisboa, França e Inglaterra. Hoje restam milhares de fragmentos de conchas e os vestígios dos viveiros ainda bem visíveis na Ilha do Rato. Na Lezíria, o património cultural está relacionado com as actividades tradicionais onde se destaca o campino ou maioral, que controla o gado (touro e cavalos) e o transfere de umas pastagens para outras, existindo uma tradição associada ao seu traje (ICNF, 2014).

### *O Património natural*

O estuário do Tejo apresenta uma riqueza impressionante em termos de biodiversidade biológica e unidades de paisagem, principalmente em áreas com estatuto especial de protecção como é o caso da Reserva Natural do Estuário do Tejo (Figura 3.8) e a Zona de Protecção Especial (Figura 3.9) onde esta se inclui. Desde as águas calmas do estuário passando pelas extensas zonas de sapal até à planura dos campos agrícolas e das pastagens da lezíria, o estuário é reconhecido como uma das zonas húmidas de maior importância na Europa para a avifauna migradora, tendo as contagens atingido mais de 100 000 indivíduos. O Estado Português reconheceu a importância excepcional desta área em termos de património natural pela criação da Reserva Natural do Estuário do Tejo através do Decreto-Lei n.º 565/76 de 19 de Julho. Permitindo assim iniciar uma gestão racional do estuário de modo a não comprometer irreversivelmente as suas incontestáveis potencialidades biológicas.





**Figura 3.9| RNET – Delimitação da Reserva Natural do Estuário do Tejo.** Base: ortofotomapa disponível *on-line* através do *software* ArcGIS 10. Delimitação da RNET: ICNF, 2014.



**Figura 3.10| ZPE – Delimitação da Zona de Protecção Especial.** Base: ortofotomapa disponível *on-line* através do *software* ArcGIS 10. Delimitação da ZPE: ICNF, 2014.

A zona de Protecção Especial, no qual se insere a RNET, consiste numa área de importância comunitária no território nacional, onde são aplicadas medidas necessárias para a manutenção ou restabelecimento do estado de conservação das populações das espécies de aves selvagens inscritas no anexo A-I do Decreto-lei nº 140/99, 24 de Abril. Estas destinam-se essencialmente a garantir a conservação das referidas espécies e respectivos habitats.

*“No estuário do Tejo e áreas terrestres adjacentes incluídas na Zona de Protecção Especial, no âmbito da Rede Natura, ocorrem 35 espécies de mamíferos, 194 espécies de aves com presença regular (aquáticas, estepárias e de floresta - 46 das quais encontram-se incluídas no anexo I da Directiva 2009/147/CE), além de 9 espécies de répteis e 11 de anfíbios. Existem referências relativamente à ocorrência de 101 espécies de peixes no estuário, mas o número de espécies com presença regular não ultrapassará as 40” (ICNF, 2014).*

A RNET abrange uma área de aproximadamente 144 km<sup>2</sup>, do qual fazem parte um largo número de diferentes habitats tais como águas estuarinas, campos de vasas, mouchões, sapais, salinas e terrenos aluvionares agrícolas. Uma extensa área localizada a montante do estuário que não excede os 11 m de altitude e 10 m de profundidade. Nas margens do estuário incluídas dentro da RNET desenvolvem-se vastas zonas de sapal. Esta constitui uma região de grande produtividade a nível de moluscos e crustáceos, estabelecendo as condições necessárias para operar como autêntica maternidade para várias espécies de peixes. No entanto, é a avifauna aquática que atribui ao estuário do Tejo o estatuto da mais importante zona húmida do País e uma das mais importantes de Europa. Com efeito, os efectivos de espécies invernantes chegam a atingir cerca de 120 000 indivíduos. São realizadas contagens com regularidade, indicando que invernam nesta Reserva Natural mais de 10 000 anatódeos e 50 000 limícolas (ICNF, 2014).

Os ecossistemas costeiros, incluindo os sapais encontrados em estuários e lagunas, estão entre os ecossistemas mais produtivos da biosfera. Estes contêm numerosos valores ecológicos e económicos sendo a sua importância vital reconhecida mundialmente, de tal forma que foram recentemente incluídos como elementos biológicos fundamentais para a avaliação do estado da qualidade ecológica na Directiva-Quadro da Água (DQA, 2000/60/EC). A produtividade biológica, a regulação do fluxo hidrológico, ciclos biogeoquímicos de metais e nutrientes, habitat para peixes e animais selvagens, estão entre as várias funções ecológicas essenciais apoiadas por esses ecossistemas. Além disso, a vegetação halófila é responsável pela maior parte da dissipação de energia das ondas encontrada nestes ambientes, proporcionando uma forma de defesa do território, reduzindo a necessidade de paredões ou diques para proteger o interior e aumentando estabilidade do sapal e das salinas (Valentim, 2013).



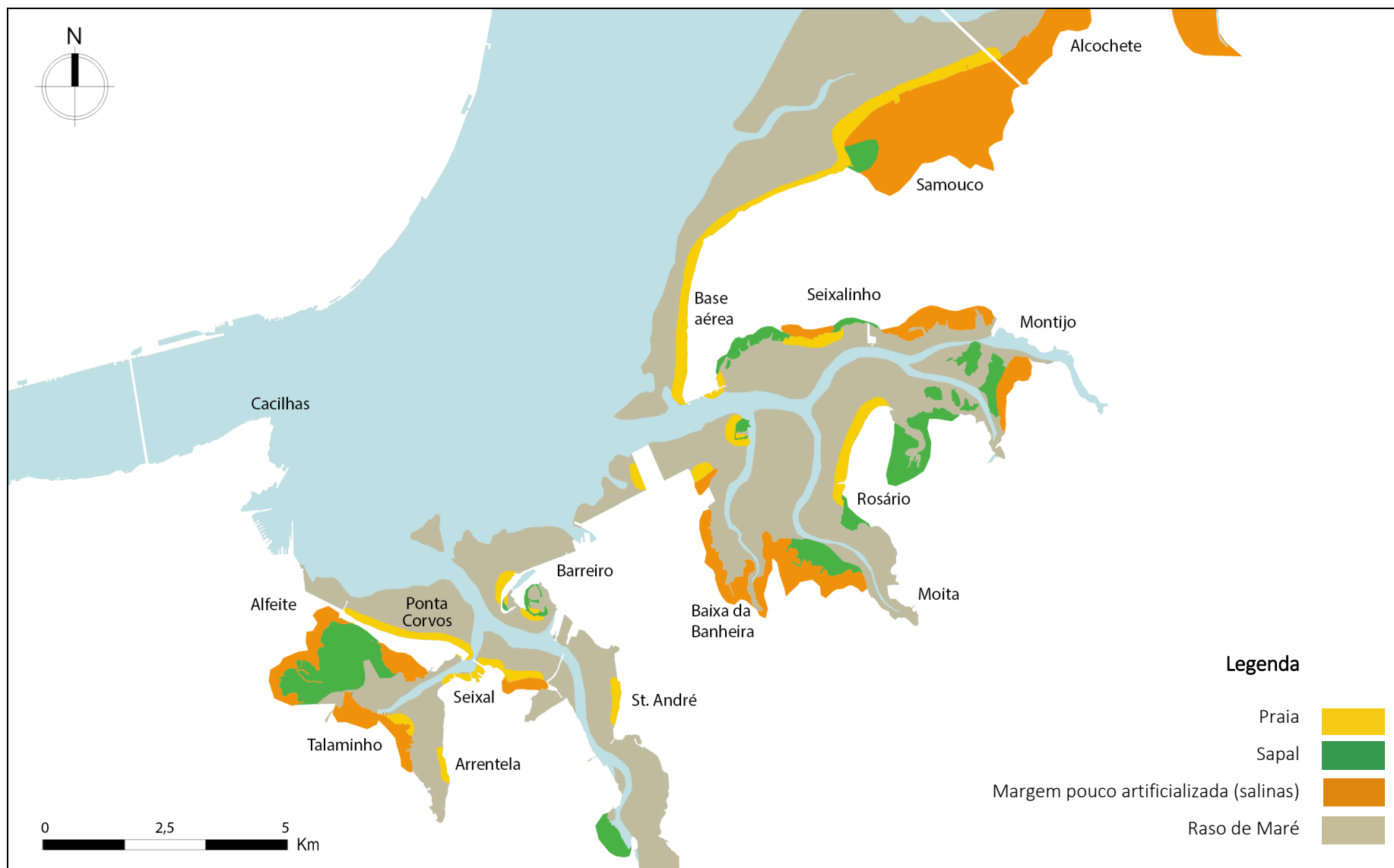


Figura 3.11| Localização dos sapais e praias no estuário interno do Tejo. [Fonte: Adaptado de Freire *et al.*, 2006].



Os sapais (Figura 3.12) são de extrema importância neste ecossistema e distribuem-se, além da RNET, pelo estuário interno do Tejo (Figura 3.11). Compreendem a área superior da zona intertidal do estuário e evoluem a partir dos rastos de maré lodosos que aí se desenvolvem. A energia das marés e a sua capacidade de transporte diminui a partir da PMAM (média das Preias-mar em águas-mortas<sup>21</sup>), e portanto a superfície do rasto de maré lodoso, acima desse nível de maré, torna-se bastante estável, uma vez que a maré não consegue voltar a suspender os sedimentos aí depositados. Esta superfície estável é composta por sedimentos finos e ricos em matéria orgânica que quando colonizada por vegetação halófila, própria de terrenos salgados, origina o sapal (Silva, 2013). Alguns destes sapais foram por sua vez modificados por acção humana e reconvertidos em salinas, que na sua maioria se encontram desactivadas. Este é colonizado por várias espécies vegetais e sulcado por inúmeros canais e esteiros formados devido ao incessante avanço e recuo das marés. Os sapais são habitat natural de várias espécies de peixes, aves migradoras e de micromamíferos. Apresentam um elevado número de crustáceos constituindo nichos ecológicos de desenvolvimento de diversas formas larvares. Os anatódeos utilizam essencialmente a vegetação de sapal como fonte alimentar.



**Figura 3.12| Vista para o Seixal.** Zona de sapal em 1º plano com siderurgia (indústria desactivada) e serra de Arrábida em 2º e 3º planos respectivamente. [Foto: António Sacchetti in ArchiNews, 2011].

---

<sup>21</sup> Marés de pequena amplitude pela ocasião das quadraturas da lua.

Neste estuário ocorrem ainda dois tipos de praias: aquela cuja génese está associada às ondas oceânicas que se propagam para o interior da embocadura, localizando-se maioritariamente na margem direita do Tejo, entre S. Julião e Algés, e as que se formam por acção de ondas de geração local, situadas na margem esquerda, na zona interna do estuário. Este segundo tipo de praias, as praias naturais do estuário interno do Tejo (Figura 3.11), são bastante importantes como espaço de recreio, uma vez que se tem verificado uma procura crescente pela população deste tipo de locais devido ao seu elevado potencial para actividades de lazer, nomeadamente, para fins balneares. Devido não só à riqueza faunística e florística, mas também pelo reconhecimento destes espaços como elementos dissipadores de energia das correntes e das ondas, protegendo os terrenos interiores contra a erosão, a preocupação com a protecção das praias estuarinas aumentou nos últimos vinte anos (Freire *et al.*, 2006).

Estas praias distribuem-se desde o Sapal das Hortas, a montante de Alcochete, até à zona do Samouco, caracterizando a margem estuarina por uma praia de areia. A montante, a praia contacta superiormente com sapal, enquanto a jusante é limitada por áreas de ocupação antrópica. Por sua vez, desde Samouco até à enseada do Montijo, a praia estende-se por cerca de 6 000 m, tendo a face limitada inferiormente por rasos de maré.

Na enseada do Montijo existem apenas alguns depósitos de areias, como o Seixalinho, limitados inferiormente por um raso de maré. No Rosário a praia desenvolve-se por cerca de 1 000 m. Nesta zona é ainda possível observar pequenas praias de areia sobrepostas a zonas de sapal que são activas apenas durante eventos de alta energia (e.g. eventos de maior agitação marinha ou *tsunamis*).

No Barreiro observam-se duas restingas de areia com pequenas manchas de sapal muito degradado na zona inferior. Na enseada do rio Coina encontram-se praias em Santo André, na margem direita, e a norte do Seixal, na margem esquerda, ambas limitadas por rasos de maré. A evolução destas praias é activamente influenciada pelas operações de dragagem para manutenção da navegabilidade dos canais, constituindo frequentemente zonas de despejo.

Na baía do Seixal existem algumas praias de areia de pequena extensão: Arrentela e Talaminho. Encontram-se também pequenas praias artificiais, como no caso da Amora, formadas por depósitos de aterro ou de despejos de dragagem. A última praia deste estuário interno, a praia do Alfeite, estende-se por cerca de 2 600 m desde a Quinta do Alfeite até à ponta dos Corvos e está instalada na vertente norte de uma restinga, enquanto a vertente sul é constituída por sapal. A norte é limitada por um raso de maré com cerca de 300 m de largura (Freire *et al.*, 2006).

Esta foi a primeira praia do estuário interno do Tejo a ser classificada, em 2013, passando a ser permitida a sua prática balnear nesse ano. A classificação é feita com base na avaliação da Agencia

Portuguesa do Ambiente e a sua formalização ocorreu através da publicação da Portaria n.º 178/2013. D.R. nº 91, Série I, de 13-05-2013. A qualidade da praia foi assegurada com a entrada em funcionamento da ETAR do Seixal em 2011, atingindo uma taxa de 100% no tratamento de efluentes e contribuindo para a despoluição do estuário e para a salvaguarda do património ambiental do município e da região, a Ponta dos Corvos (Figura 3.13).

Nos estuários, as alterações do nível médio do mar e da amplitude de marés afectam não só a intensidade das correntes, como também a distribuição de energia das ondas, tornando-se um elemento fulcral na dinâmica tanto dos ambientes de sapal como das praias estuarinas.

Estas alterações influenciam o espaço de acomodação de sedimento disponível nas superfícies dos sapais e o abastecimento sedimentar mineralógico, que varia conforme a concentração de sedimentos em suspensão, o tamanho dos sedimentos e a mineralogia. Estas determinam também a largura da praia e a duração em que a rebentação afecta cada zona do perfil. Em condições de preia-mar ou de elevados níveis de água no estuário, as ondas rebentam sobre a zona superior da face do sapal e da praia podendo provocar alterações morfológicas do perfil através de processos erosivos (Freire *et al.*, 2006; Silva, 2013).



**Figura 3.13 | Vista para Lisboa.** Vista para Lisboa a partir da praia da Ponta dos Corvos [Foto: António Sacchetti in ArchiNews, 2011].

## O PROJECTO

### PRODUÇÃO DE CARTAS DE VULNERABILIDADE

Mais do que o interior, as zonas costeiras encontram-se altamente vulneráveis aos impactes das alterações climáticas. A pesquisa actual confirma que a alteração climática irá acelerar a taxa da subida do nível do mar ao longo de grande parte do litoral, resultando em danos causados por cheias, erosão, inundação das zonas húmidas e outros prejuízos ecológicos. Estes impactes irão interagir com alguns problemas actuais já conhecidos no Estuário do Tejo, como a poluição e a contaminação dos solos, reduzindo assim a resistência global daquele sistema costeiro.

Neste projecto é feita uma modelação à escala regional através de um método de visualização simples capaz de identificar as áreas costeiras de menor altitude e portanto mais vulneráveis. É dada uma particular atenção aos dados e ao processo utilizados nesta metodologia, uma vez que se pretende que esta seja facilmente aplicável. É utilizado o *software* de Sistemas de Informação Geográfica ArcGIS, imagens de satélite, comumente disponíveis com o próprio *software*, bem como dados de elevação do terreno, estes contudo são mais difíceis de obter. A metodologia empregue é uma adaptação da apresentada por Khun *et al.* (2011) uma vez que apesar de esta ser genérica foi preciso ter em consideração a própria morfologia da área de estudo, assim como dos processos naturais e antrópicos que nela ocorrem e as suas dinâmicas.

A área de estudo seleccionada, o Estuário do Tejo, engloba uma longa fracção de aproximadamente 320 km<sup>2</sup>, com um comprimento de cerca de 80 km desde o seu limite superior (perto de Muge) até à sua embocadura (perto de S. Julião da Barra-Bugio). A área submersa varia entre 300 km<sup>2</sup> em marés de águas mortas e 340 km<sup>2</sup> em marés de águas vivas, inclui ainda as suas margens densamente povoadas (Dias *et al.*, 2013). A configuração geográfica é considerada representativa quando comparada com um número elevado de outras grandes cidades localizadas perto de oceanos ou em ambiente de deltas e estuários que têm um papel socioeconómico importante nas respectivas regiões. Além da visualização, cada mapa de vulnerabilidade é analisado em termos da extensão espacial de área inundada, assim como o património industrial e natural que se encontra em risco. Esta informação é utilizada aqui como exemplo de uma visualização rápida com o objectivo de identificar as zonas mais vulneráveis na área de estudo.

#### 4.1. Dados

##### *Projecções da subida do nível do mar.*

Os valores das projecções da subida do nível do mar para o final do século XXI utilizados neste método são os mesmos valores indicados pelos vários autores, referidos anteriormente, para o panorama global uma vez que não haverá diferenças significativas para a região de Lisboa. Os mapas de vulnerabilidade terão como referência apenas dois cenários, um cenário menos pessimista (A), e um mais pessimista (B). É considerado o valor médio projectado em cada um destes cenários para o ano de 2100. Assim, os valores a considerar serão de 0,50 m para o cenário A e 1,5 m para o cenário B (Tabela 4.1). Uma vez que o Estuário do Tejo dispõe de um regime de marés com amplitudes aproximadas entre os 0,55 e 3,85 m (Guerreiro *et al.*, 2012) calculadas a partir do Zero Hidrográfico, é preciso considerar esta dinâmica nas projecções de subida do nível do mar, assim, é somado o valor de 3,30 m a cada projecção. Este valor, que representa a diferença entre maré alta e maré baixa, serve para considerar a subida do nível médio do mar no seu valor máximo, ou seja, encontrando-se este em regime de maré alta. Na medida em que é impossível saber qual a altura exacta da maré aquando a produção da base de dados de elevação, considera-se que esta estará no mínimo possível, ou seja, em regime de maré baixa. Assim, as projecções apresentadas representam o valor médio do nível do mar em condições de maré alta e considerando que a base de elevação utilizada apresenta o nível do mar no seu valor mais reduzido, ou seja, em regime de maré baixa. É preciso ainda referir que, devido à subida do nível do mar, a dinâmica das marés sofrerá alterações significativas. Estas terão uma maior amplitude, será de esperar um aumento das correntes de maré, uma maior intrusão salina e ainda a dominância de enchente no estuário (Guerreiro *et al.*, 2012) o que faz com que o tempo de residência e qualidade da água sejam alterados, assim como os habitats e flora da orla estuarina.

A fim de ilustrar algumas situações de inundações mais graves, serão ainda concebidos alguns mapas de carácter excepcional que terão em conta três cenários mais extremos propostos por Kuhn *et al.* (2011), nestes serão consideradas as projecções da subida do nível do mar tendo por base o derretimento dos grandes glaciares. Assim os três cenários possíveis são: (I) derretimento completo da camada de gelo da Antárctida Ocidental, (II) derretimento completo da camada de gelo da Gronelândia, e (III) derretimento completo das camadas de gelo da Antárctida Ocidental e da Gronelândia (Tabela 4.1).

Kuhn *et al.* (2011) sugere ainda um quarto cenário, considerando o derretimento completo das camadas de gelo da Antárctida e da Gronelândia, no entanto, optou-se pela sua não utilização neste projecto, uma vez que a probabilidade de ocorrência é praticamente nula, como também se torna impossível prever o comportamento do fluxo da água nessa situação.

É importante mencionar que as projecções da subida do nível do mar induzidas por uma desglaciação quase total, numa escala de tempo que não seja de milénios, são altamente incertas e são tomadas aqui apenas como um meio para derivar valores do nível do mar mais alto e mostrar algumas inundações mais severas.

**Tabela 4.1| Projecções da subida do Nível Médio do Mar (NMM) para 2100.** Os valores (em metros) para os cenários A e B resultam das projecções globais médias de vários autores e os valores para os cenários I, II e III foram obtidos de Kuhn *et al.* (2011).

Cenário	A	B	I	II	III
Projecção global Nível Médio Mar	0,50	1,50	5,00	6,80	11,80
Projecção NMM na Área de Estudo *	3,80	4,80	8,30	10,10	15,10

\* Valores utilizados na criação dos mapas de vulnerabilidade considerando que a base de dados de elevação apresenta o valor mais baixo do nível do mar (maré baixa) e portanto é adicionado à projecção da subida do NMM o valor suficiente para atingir a maré alta (+ 3,30 m).

#### *Dados de elevação.*

A base de dados de elevação utilizada neste projecto é um Modelo Digital do Terreno (MDT) disponibilizado pela United States Geological Survey (USGS, 2014). O MDT constitui uma representação computacional contínua da topografia e das formas do terreno com variações de altitude numa área definida sobre um plano cartográfico num conjunto de coordenadas X, Y e Z. As coordenadas Z representam valores da altitude e profundidade num modelo tridimensional que contenha o atributo elevação. O ficheiro utilizado: SRTM<sup>22</sup>, 1 Arc-Second Global, consiste numa base de dados de elevação com cobertura mundial que dispõe de uma resolução de 30 m para os Estados Unidos da América e de 90 m para o resto do globo. A resolução do SRTM tem uma precisão vertical e horizontal de aproximadamente 16 e 20 metros respectivamente e 90% de confiança (Chien, 2000; Rabus *et al.*, 2003; Smith & Sandwell, 2003). Tem sido demonstrado que para uma modelação regional, os MDT de alta resolução publicamente disponíveis (e.g. ASTER GDEM<sup>23</sup>) apenas servem quando se consideram aumentos do nível do mar de vários metros devido à sua precisão vertical (Kuhn *et al.*, 2011). Este nível de resolução é considerado razoável para análises a escalas de aproximação pequenas ou médias, adequando-se assim para ser trabalhado à escala regional. O MDT foi um instrumento fundamental na elaboração deste projecto e encontra-se disponível *on-line* e de forma gratuita. A actualização desta base de dados foi publicada a 23 de Setembro de 2014, sendo portanto a mais recente base de dados de elevação disponível.

<sup>22</sup> Shuttle Radar Topography Mission.

<sup>23</sup> Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM).

### *Imagem de satélite.*

Para além dos dados do DTM utilizados para obter a extensão espacial da área inundada pela subida do nível do mar, as imagens de satélite são cruciais, a fim de coincidir com as áreas inundadas as respectivas características do terreno. Esta informação é importante e permite que o planeamento para estas paisagens tuteladas por decisores políticos locais e proprietários, consiga facilmente tomar em conta esta alteração e identificar as regiões que são afectadas pela inundação e a sua gravidade. A base de dados aqui utilizada consiste na imagem de satélite disponível *on-line* pelo *software ESRI ArcGIS 10.0*. Ao seleccionar os dados de imagem   importante considerar que estes devem ter uma resolu o semelhante ao do DTM, de outra forma pode não ser possível combinar correctamente a informa o espacial contida na imagem.

## **4.2. Método**

Os Mapas de Vulnerabilidade são feitos com base nas projecções de subida do nível do mar, no MDT e em imagens de s telite. Neste estudo o objectivo   a visualiza o da área vulner l   subida do nível do mar, portanto, a área de inunda o permanente. Enquanto o MDT fornece informações geométricas sobre a forma como a água se vai alastrar sobre o terreno (inunda o), as imagens de s telite fornecem informações visuais sobre as áreas de paisagem afectadas. Este tipo de visualiza o   útil para uma avalia o geral do impacte da inunda o, ajuda a identificar as áreas com maior risco (e.g. inundações em grande escala) e/ou áreas de maior importância (e.g.  reas urbanas ou de habitats naturais relevantes) que poderão exigir mais atenção, com estudos mais detalhados de planeamento que incorporem o factor da subida do nível do mar.

  importante referir que apesar do uso do MDT fornecer a superfície geométrica da superfície da Terra, este negligencia completamente os processos geomorfológicos (e.g. erosão), assim como construções concebidas pelo homem como estruturas de preven o de cheias. Portanto, qualquer resultado de visualiza o obtido com este tipo de modela o só deve ser tomado como indicativo (Hennecke *et al.*, 2004; Kuhn *et al.*, 2011).   possível ser feita uma modela o 3D mais complexa que considera os dados sobre a geomorfologia e infra-estruturas (edifícios, estradas, etc.) do terreno contudo esse não   o objectivo deste trabalho que tem como principal objectivo o de proporcionar uma visualiza o rápida das áreas afectadas pela inunda o sem ser necessário técnicas de modela o demasiado complexas. Assim, através do *software* ArcGIS 10.0, foi feita uma modela o de inunda o e visualiza o que se baseia em três passos simples:

- O primeiro passo consiste na reclassificação matricial do MDT através da ferramenta *Raster Reclassify*. Com este processo pretende-se identificar todos os pixéis do MDT que estão abaixo da cota do novo nível do mar. Isto corresponde apenas à elevação e desconsidera a propriedade física do fluxo da água (por exemplo, poderão existir áreas que não sofrerão com a subida do nível do mar devido a barreiras naturais). Este tipo de áreas tem uma elevação menor do que o novo nível do mar e por esse motivo são delimitadas automaticamente no decorrer do método, no entanto, estas poderão não sofrer inundações por estarem protegidas por formas do terreno mais elevadas.
- No segundo passo é criado um tema de polígonos através das ferramentas de conversão, com os dados vectoriais resultantes da reclassificação realizada anteriormente. Assim conseguiremos obter a extensão espacial da área inundada e informação de como estas se encontram interligadas.
- Finalmente, no terceiro passo, o tema de polígonos com a área inundada é sobreposto com transparência sobre a imagem de satélite da paisagem em estudo. Este é ainda convertido num ficheiro Keyhole Markup Language (KML), para que possa ser possível a sua visualização no *software Google Earth* ou através da plataforma *on-line Google Maps*, sem a necessidade de recorrer ao *Software ESRI ArcGIS*. O mapa digital com os cinco cenários projectados será fornecido como material electrónico suplementar deste projecto e poderá ser consultado *on-line*.

Segue-se um princípio geométrico compreensível, onde a altura do novo nível do mar é moldada com a linha de contorno correspondente no terreno, negligenciando assim os efeitos de geomorfologia e estruturas construídas pelo homem.

#### 4.3. Resultados e discussão

A projecção de subida do nível do mar mais alta para a área de estudo nos cenários A e B é de 0,50 m e 1,50 m, respectivamente (Tabela 4.1) tendo ambas uma magnitude inferior à amplitude das marés. Apesar desta e o facto de que a magnitude ser muitas vezes menor do que a precisão do DTM utilizado, a modelação da área inundada é realizada e visualizada (Figura 4.1 e Figura 4.2). Esta foi concebida através da adição do valor de amplitude de marés às projecções de subida do nível do mar. Assim, as interpretações têm de ser realizadas com cuidado, não só devido a este aumento induzido como também à precisão vertical do DTM ser muito maior do que o aumento do nível do mar



considerado. Devido ao aumento do nível do mar, mas também ao aumento das amplitudes das marés, são expectáveis as ocorrências de inundações marginais mais frequentes, algumas destas de carácter permanente (Guerreiro *et al.*, 2012; Oliveira, 2013).

**Tabela 4.2 | Área (em km<sup>2</sup>) do território inundado de cada município nos diferentes cenários.** Ao lado do nome do município, entre parêntesis, é apresentada a sua área total em Km<sup>2</sup>.

Cenário	A	B	I	II	III
Lisboa (86)	0,53	0,72	2,23	3,58	6,62
Loures (16 600)	1,93	3,34	8,86	11,5	16,5
Oeiras (46)	0,13	0,16	0,54	0,96	2,28
V. F. Xira (21 400) *	80,7	105,8	130,9	134	137,9
Alcochete (95)	13,4	16,7	22,3	25,7	37,4
Almada (70)	0,31	0,39	3,35	5,92	10,7
Barreiro (32)	1,67	2,20	4,38	5,68	8,64
Benavente (48 300) *	30,3	50,5	88,3	101,7	141,5
Moita (44)	3,16	4,44	8,19	10,5	17,1
Montijo (5 1) **	2,54	3,85	8,24	11,0	22,2
Seixal (87)	1,78	2,33	4,98	7,20	12,2
Total	136,41	190,49	282,26	317,75	413,13

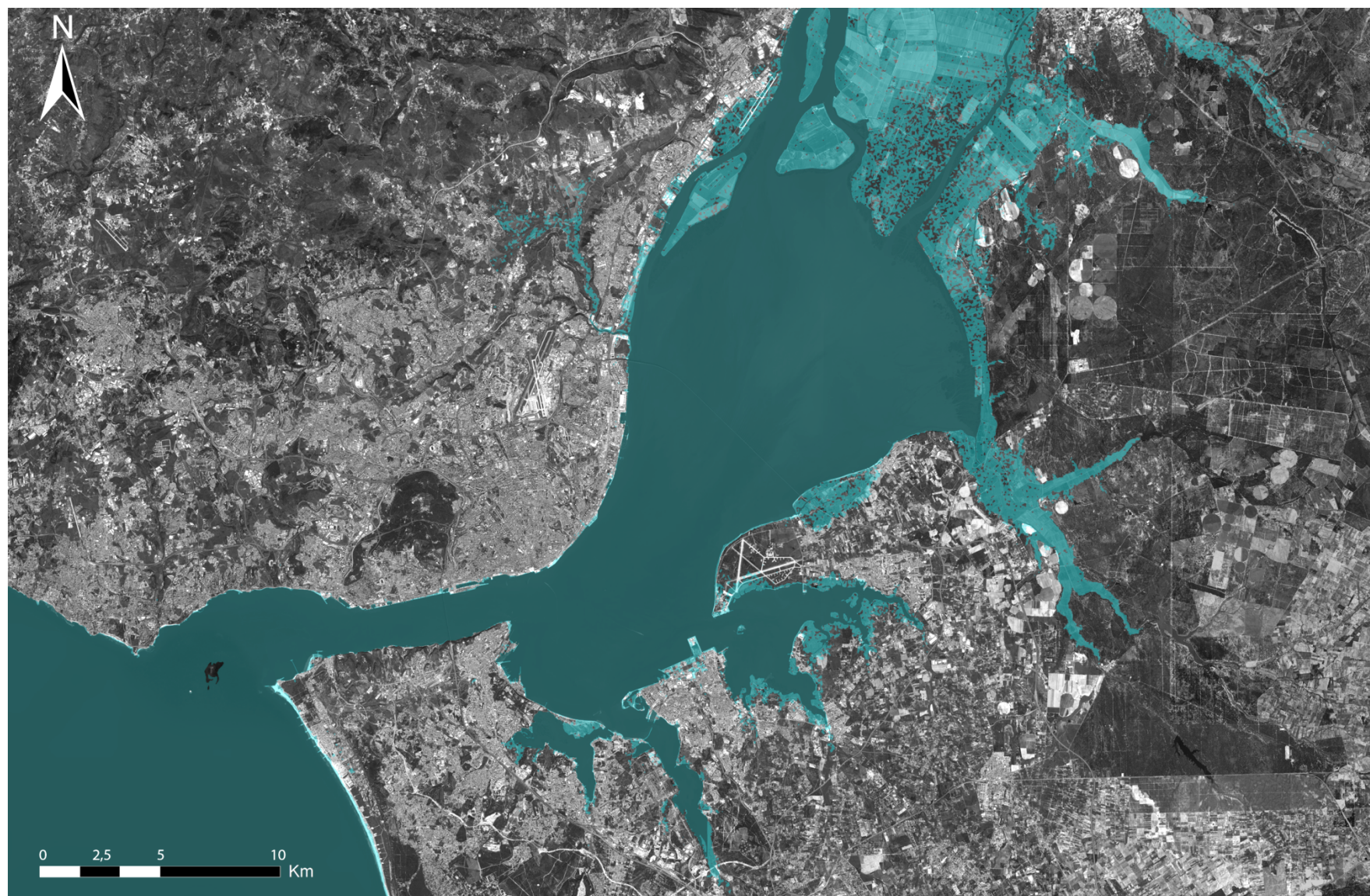
\* Este município não se encontra abrangido totalmente pela base de dados, pelo que a sua área é apenas a incluída.

\*\* Este município é territorialmente descontínuo e portanto considerou-se apenas a porção contígua ao estuário.



**Figura 4.1| Mapa de vulnerabilidade – Cenário A.** Novo nível médio do mar com uma subida de 0,50 m. A área a azul-claro representa a superfície terrestre que fica submersa. Base: ortofotomapa disponível on-line através do software ArcGIS 10.0.





**Figura 4.2| Mapa de vulnerabilidade – Cenário B.** Novo nível médio do mar com uma subida de 1,50 m. A área a azul-claro representa a superfície terrestre que fica submersa. Base: ortofotomapa disponível on-line através do software ArcGIS 10.0.

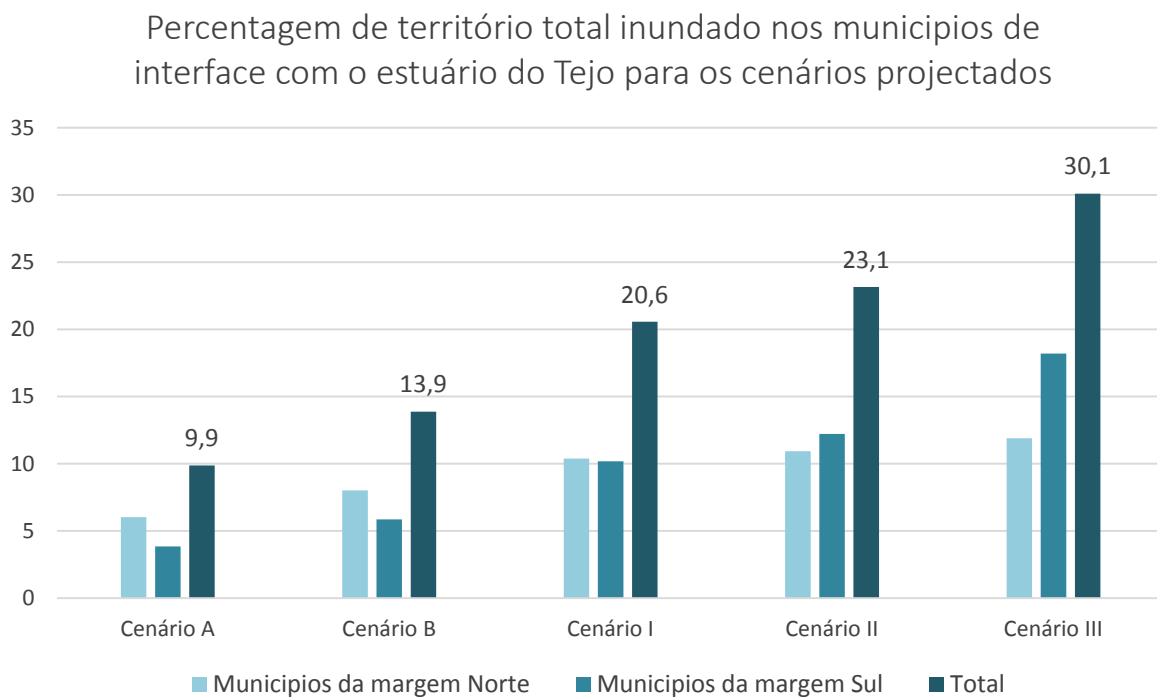


Gráfico 4.1| Percentagem de território total inundado para todos os cenários projectados.

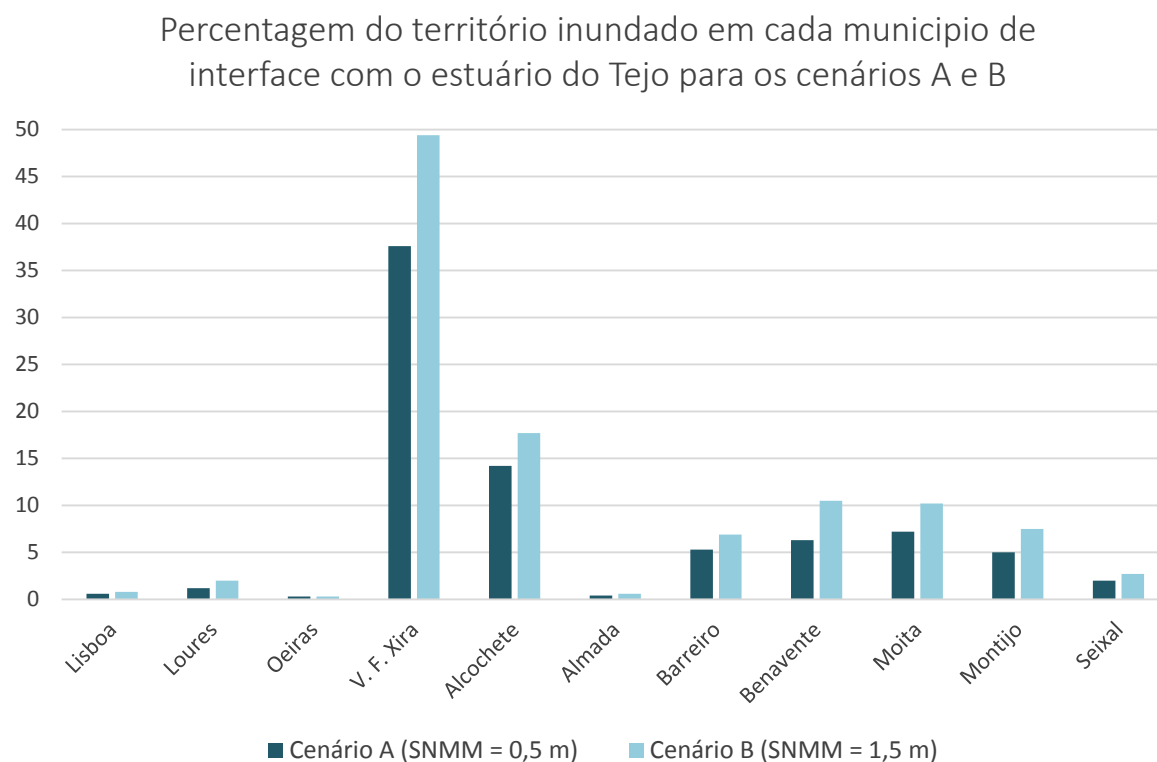


Gráfico 4.2| Percentagem de território inundado para os cenários A e B.

O mapa de vulnerabilidade do cenário A (Figura 4.1) mostra que um aumento de 0,50 m no nível médio do mar terá já um impacto significativo no território, contabilizando uma área total da superfície terrestre inundada de quase 10% (Gráfico 4.1), o equivalente a aproximadamente 135 km<sup>2</sup>. Esta projecção de subida do nível médio do mar para 2100 é apontada pela comunidade científica como inevitável, independentemente de se tentar colocar em prática, hoje, todas as possíveis medidas de prevenção.

O aumento de 1,50 m, visualizado através do mapa de vulnerabilidade do cenário B (Figura 4.2) já representa uma projecção de subida do nível do mar mais pessimista, mas ainda assim, com uma grande certeza de ocorrência, por parte da comunidade científica. Nesta situação, a área total de superfície terrestre inundada é de aproximadamente 14% do território em estudo (Gráfico 4.1), ou seja, 190 km<sup>2</sup>. Uma vez que estes valores da projecção da subida do nível médio do mar são inferiores à amplitude das marés, estas áreas devem ser interpretadas apenas como sendo periodicamente inundadas, pois ocorre somente durante eventos de preia-mar. Contudo, a subida do nível médio do mar irá alterar a assimetria da maré (Guerreiro 2012), podendo tornar quase todo o estuário dominado pelo regime de maré cheia. São assim expectáveis ocorrências de inundações marginais mais frequentes.

Os municípios na área de estudo mais afectados ou mais vulneráveis a estas cheias são sobretudo aqueles que possuem um carácter agrícola - Vila Franca de Xira, Alcochete, Moita, Montijo e Benavente - e centram-se na margem sul do rio, excepto Vila Franca de Xira, onde o território é mais aplanado. O município de Vila Franca de Xira, na margem norte, é o mais afectado com quase 40% do seu território submerso, para o cenário A, e aproximadamente 50% para o cenário B (Gráfico 4.2). Este valor tão elevado deve-se sobretudo às grandes extensões de lamas que constituem os mouchões, assim como a Lezíria, terra baixa e plana constituída pelos aluviões do rio que se foram depositando ao longo dos séculos. Grandes áreas destinadas à agricultura e pastoreio que, por terem cotas relativamente baixas, facilmente ficam inundadas com a subida do nível do mar. Na outra margem, a sul, o município mais afectado é Alcochete, com uma área submersa de quase 15% para o cenário A e 18% para o cenário B, seguindo-se os municípios da Moita, Montijo e Benavente, com uma percentagem de território submerso que ronda os 5% - para o cenário A - e os 10% - para o Cenário B (Gráfico 4.2). Estes municípios, marcadamente agrícolas, detêm também vastas regiões aplanadas compostas por sapais, praias e salinas, que são bastante susceptíveis à subida do nível do mar. Os restantes municípios, que usufruem de um carácter marcadamente urbano e/ou industrial, apresentam valores muito reduzidos para a área de território afectada pelas cheias. Em ambos os cenários, este valor não atinge os 5%, à excepção do município do Barreiro, onde fica submerso 5,3%

e 7% do seu território, no Cenário A e cenário B, respectivamente (Gráfico 4.2). A área submersa (em km<sup>2</sup>) para todos os cenários pode ser consultada na tabela 4.2.

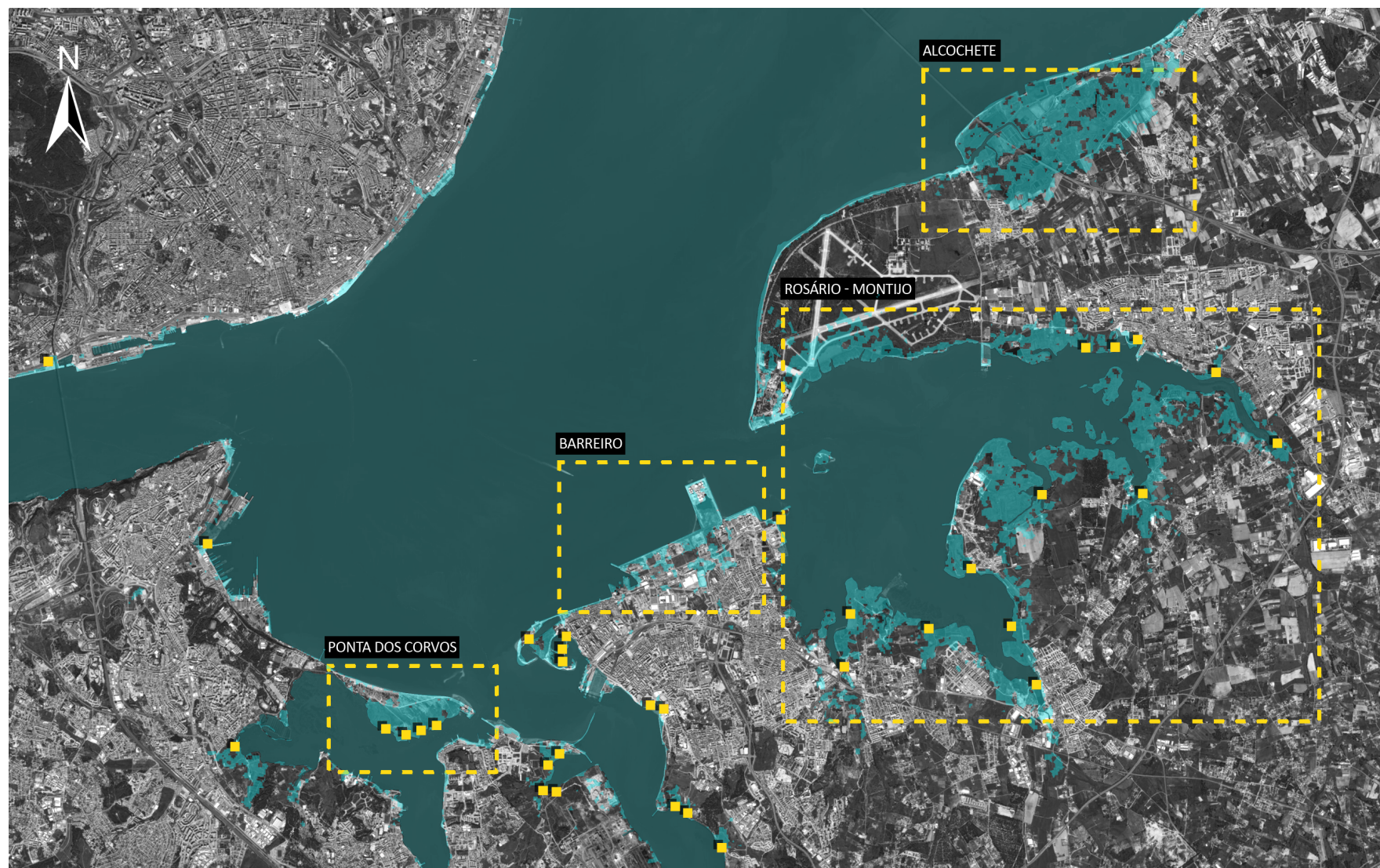
Além das inundações costeiras, os municípios de interface com o estuário do Tejo poderão ainda enfrentar outro risco agravado pelas alterações climáticas e respectiva subida do nível do mar devido a um incremento da frequência e/ou intensidade de eventos de precipitação extrema. Este por sua vez implica um importante aumento do risco de inundação urbana, nomeadamente nos pontos baixos de descarga, ou seja, as frentes-rio. Dado que estes municípios apresentam na sua generalidade um relevo aplanado - original no caso da maioria dos municípios da margem sul ou resultante de aterros realizados pelo homem, mais predominante na margem norte – a sua capacidade de escoamento das águas pluviais é reduzida, a este acresce o facto do solo em meio urbano ser geralmente bastante impermeabilizado. Assim os sistemas costeiros, que descarregam os seus efluentes para o mar e que estão tipicamente localizados a cotas baixas sofrerão as consequências do aumento do nível do mar e a consequente redução da capacidade de escoamento dos troços finais dos emissores.

Encontra-se disponível no Diagnóstico Sectorial de Riscos e Protecção Civil (2010) (PROT-AML: Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa sob coordenação de José Luís Zêzere) um capítulo sobre a susceptibilidade de inundação urbana da Área Metropolitana de Lisboa onde mostra quais as áreas mais vulneráveis e os diferentes tipos de inundação a que estão sujeitas, estas causadas por eventos de precipitação extrema (Anexo 9).

Segundo Oliveira (2013), *“Se o risco de inundação costeira depende de grandes subidas do nível do mar, o risco de inundação urbana pode aumentar de forma significativa para pequenas subidas, aumentando a frequência das inundações para precipitações cada vez menores devido à perda de eficiência do escoamento costeiro”*. Esta redução de eficiência dá-se sobretudo devido ao efeito tampão do estuário que resulta numa obstrução da drenagem e na intrusão das águas de maré nos encanamentos, impedindo assim o escoamento das águas pluviais e aumentando os episódios de cheia. Actualmente, na ocorrência de marés altas, o nível da água já atinge a cota costeira da frente ribeirinha da capital, pelo que até a menor subida do nível do mar dará origem à perda de eficiência do escoamento costeiro.

Relativamente ao número de habitantes afectados por estas inundações, torna-se difícil calcular o seu valor exacto, uma vez que não há disponível uma base de dados para o efeito e as bases utilizadas neste projecto também não conseguem expor esse nível de pormenor.





**Figura 4.3| Áreas mais vulneráveis e Património industrial.** Visualização de algumas das áreas mais vulneráveis (tracejado amarelo) e património industrial (quadrados amarelos) em risco. Tanto no cenário A como no cenário B, este fica comprometido. Além do património industrial, também o património natural como as praias e sapais ficaram submersos correndo o risco de desaparecer. Base: ortofotomapa disponível on-line através do software ArcGIS 10.0.

Pode verificar-se pela Figura 4.3 que a margem sul é especialmente afectada pela subida do nível do mar ao longo de toda a extensão da sua linha de costa, inclusive o centro urbano do Barreiro é a zona urbana que mais riscos apresenta para a população com esta diferença de altitude marítima. Estas inundações representam uma grande ameaça para edifícios públicos e residências particulares, bem como para inúmeras infra-estruturas e redes de serviço, tais como transportes, Estações de Tratamento de Águas Residuais, subestações de energia ou gás, entre outros. Também a Ponta dos Corvos ficará totalmente submersa, perdendo-se assim um dos poucos espaços, com um ecossistema singular, que preserva ainda o seu estatuto natural, o mesmo acontece aos sapais e às praias naturais que se distribuem pela zona interna do estuário, mais especificamente no Rosário e Montijo. Os impactos da subida do nível do mar para os sapais incluem alterações das comunidades de peixes, prevendo-se modificações na sazonalidade da produção e mudanças nos padrões de migração, alimentação e desova de algumas espécies. Esta alteração terá como consequência a reconfiguração dos ecossistemas marinhos e terrestres (Santos & Miranda 2006) além que afectará também inúmeras espécies de aves que anualmente se alimentam nestes locais. Em Alcochete, também as salinas do Samouco correm o risco de desaparecer, carregando consigo a história e os costumes de um povo.

Em ambos os cenários o património industrial permanece bastante vulnerável (Figura 4.3). À semelhança do que acontece com as praias e sapais do estuário, os moinhos de maré ficam situados em áreas submersas, assim como a Reserva Natural do Estuário do Tejo e respectiva Zona de Protecção Especial, pois os municípios no qual estas se inserem são dos mais afectados. Este tipo de cheias constitui uma grande ameaça para a flora e fauna locais assim como para as zonas húmidas, para os ecossistemas ímpares deste espaço, terras agrícolas e sítios históricos e culturais.

A subida do nível das águas do mar provocará o avanço da intrusão salina e a consequente redução das reservas de água doce subterrânea, que, em condições normais, estão em equilíbrio dinâmico (Oliveira et al., 2010). Prevê-se igualmente um agravamento da intensidade dos processos erosivos devido ao incremento do transporte sólido litoral associado à alteração do regime de agitação marítima. A acção erosiva das ondas poderá assim ter efeitos devastadores não só nos elementos arquitectónicos construídos, como também no delineamento dos perfis de praias e de sapais do estuário.

No que diz respeito aos restantes cenários, estes retratam situações de cheia mais graves e de carácter excepcional, onde a causa da inundação deve-se essencialmente ao derretimento total, numa escala temporal de milénios, dos grandes glaciares. Foi portanto executada a visualização gráfica da inundação causada por estes eventos de forma a perceber qual o comportamento da região costeira no estuário do Tejo face ao derretimento parcial e total das actuais áreas cobertas de gelo. Os valores de projecção de subida do nível médio do mar considerados para estes quatro cenários na área de



estudo são os apresentados na tabela 4.1, onde mais uma vez se considerou a amplitude de marés. Tal como previsto, a área inundada nestes cenários é significativamente maior que aquela obtida nos cenários com as projecções para o final do séc. XXI (Tabela 4.2 e Gráfico 4.1).

No mapa de vulnerabilidade correspondente ao cenário I (Anexo 5), que expõe uma subida do nível do mar resultante do derretimento completo da camada de gelo da Antárctida Ocidental, o total da área de estudo submersa é de 20,6% (Gráfico 4.1), o que corresponde a aproximadamente 282,26 km<sup>2</sup>. Neste cenário as regiões mais vulneráveis são praticamente as mesmas que nos mapas anteriores mas ligeiramente mais extensas, sendo já preocupante no caso do Rosário, uma vez que a área urbana desta freguesia fica isolada pela água do restante território. Note-se também um maior alagamento na zona da várzea de Loures, na margem Norte do estuário, assim como na linha de costa desde o rio Trancão em direcção a Noroeste (município de Loures e município de Vila Franca de Xira). Os municípios de Lisboa, Oeiras, Almada e Seixal (de carácter marcadamente urbano e/ou industrial) têm uma afectação menor.

O mapa que exhibe a subida do nível do mar motivada pelo derretimento completo da camada de gelo da Gronelândia, ou seja, o cenário II (Anexo 6), não revela grandes modificações comparativamente ao cenário I e a extensão espacial da inundação é bastante semelhante. Aqui a área total submersa é de 23,1% (Gráfico 4.1), apenas mais 2,5% que no cenário anterior, o que perfaz um total de aproximadamente 318 km<sup>2</sup> de área inundada.

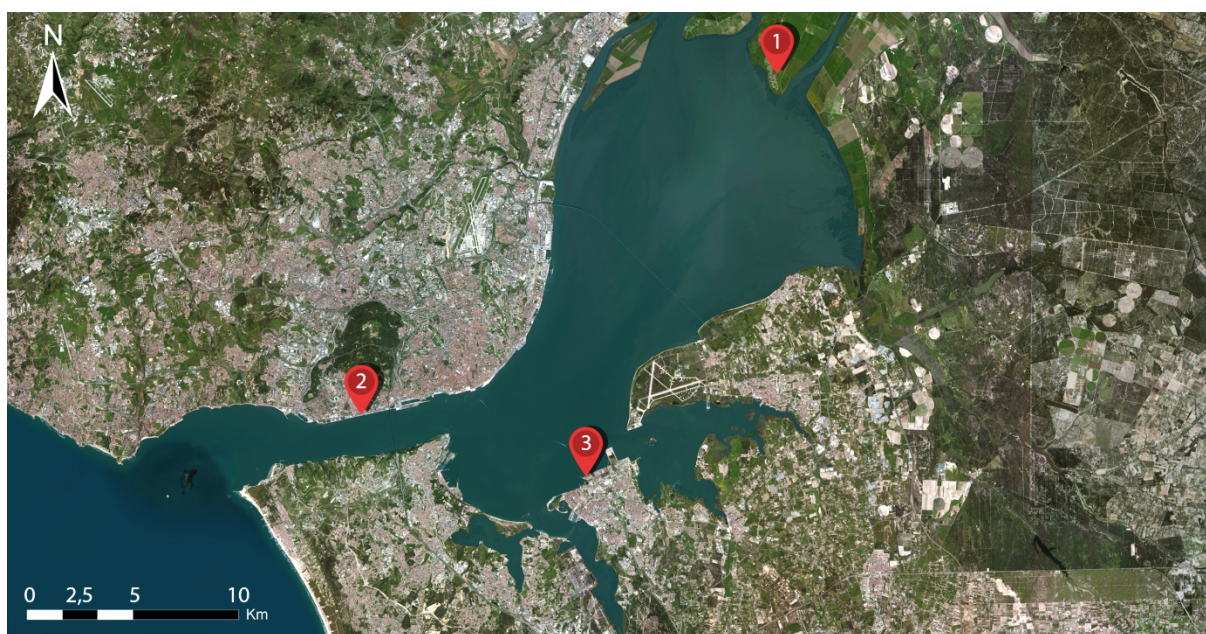
Por fim, no mapa de vulnerabilidade do cenário III (Anexo 7) mostra o resultado do derretimento completo das camadas de gelo da Antárctida Ocidental e da Gronelândia. Pode-se verificar que a sul do estuário, a margem fica submersa longos km para o interior à excepção do município de Almada, uma vez que a sua linha de costa é constituída por uma elevação maior que o nível do mar para este cenário. A restante extensão espacial da inundação pouco difere da anterior, contudo a sua dimensão é consideravelmente maior principalmente nas margens dos afluentes do estuário: Rio Coina e Rio Sorraia. A área total inundada neste cenário é de aproximadamente 413 km<sup>2</sup>, ou seja, 30% da área de estudo (Gráfico 4.1).

A criação destes mapas de vulnerabilidade serve portanto como uma ferramenta fundamental para que posteriormente se possa efectuar uma análise mais pormenorizada, mostrando quais as zonas sensíveis e que necessitam com maior urgência de um planeamento que, contando com este factor, foque a atenção num maior detalhe nas medidas de prevenção e protecção contra a subida do nível do mar. Além das áreas já mencionadas – Ponta dos Corvos, Barreiro, Rosário/Montijo e Alcochete – juntam-se a estas a parte da lezíria e os mouchões, no município de Vila Franca de Xira, como regiões mais vulneráveis às inundações e que requerem máxima atenção. Através dos mapas

para qualquer cenário, é possível para os decisores políticos ou camaras municipais analisar o resultado e verificar, de um modo geral, que o problema das inundações é particularmente grave para as frentes-rio, em regiões de cota inferior, mas também nas margens e foz das linhas de água que atravessam o território com desembocadura no estuário. Neste ultimo caso poderão, por exemplo, ser construídas estruturas relativamente pequenas de protecção à inundação e assim evitar prejuízos maiores.

Nota: Os Mapas de Vulnerabilidade desenvolvidos no âmbito deste projecto para cada um dos cenários propostos poderão ser consultados digitalmente através da plataforma *on-line* Google Maps seguindo o endereço: [https://www.google.com/maps/d/edit?mid=zhquNjxgi0wo.kC4H\\_VX5BWWw](https://www.google.com/maps/d/edit?mid=zhquNjxgi0wo.kC4H_VX5BWWw).

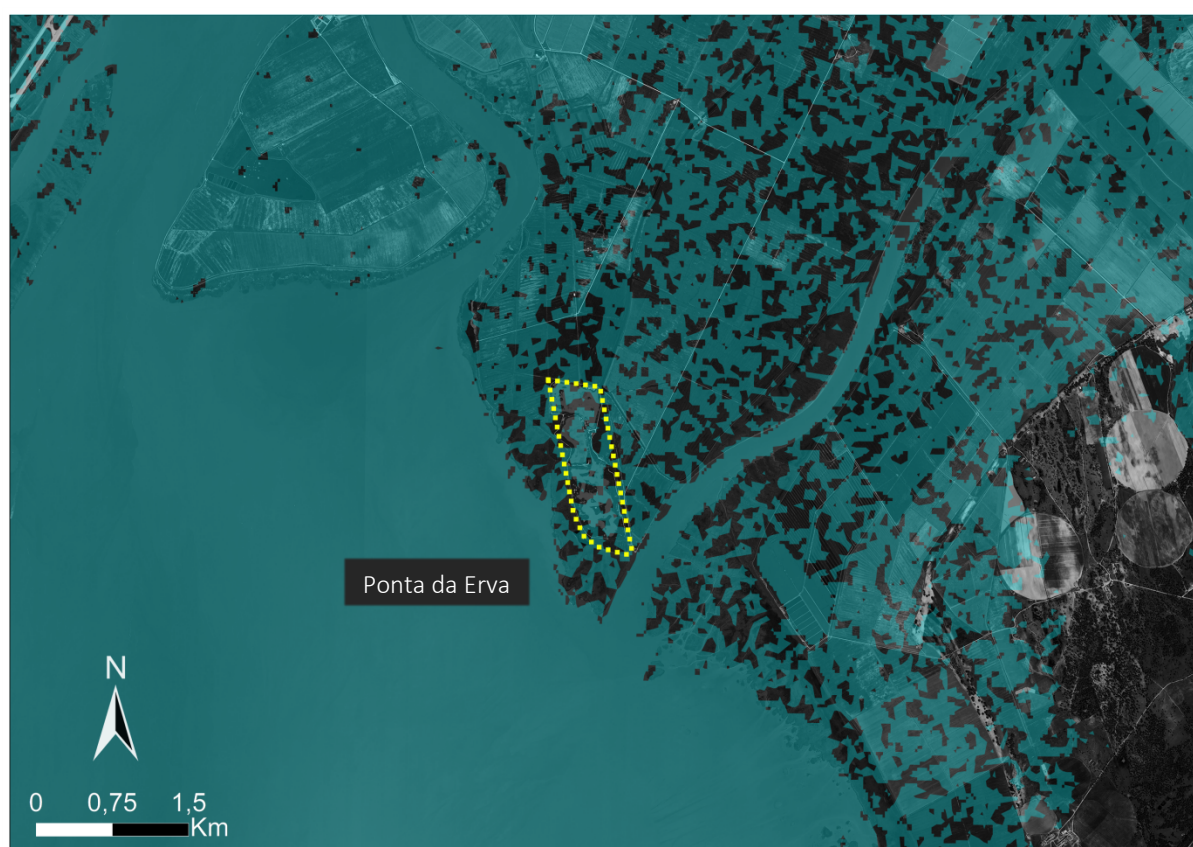
A aplica o deste método no estuário do Tejo permitiu localizar zonas de ac o prioritária pela sua susceptibilidade e verificar que existe uma grande parte do território atingida por estas transforma es da paisagem (136,4 km<sup>2</sup> para um aumento do NMM de 0,5 m e 190,5 km<sup>2</sup> para um aumento de 1,50 m).   ainda possível verificar a utilidade desta ferramenta no âmbito do ordenamento do território e planeamento urbano atestando alguns exemplos de projectos actualmente em curso para a paisagem em estudo (Figura 4.4) de forma a demonstrar a utilidade desta ferramenta. O primeiro corresponde ao EVOA (Espaço de Visita o e Observa o de Aves) na Ponta da Erva, o segundo ao Centro de Artes e Tecnologia da Funda o EDP em Belém, e o terceiro ao Plano de Urbaniza o da Quimiparque no Barreiro.



**Figura 4.4| Localiza o dos projectos em  n lise.** (1) EVOA - Espaço de Visita o e Observa o de Aves. (2) Centro de Artes e Tecnologia da Funda o EDP. (3) Plano de Urbaniza o da Quimiparque. [Base: ortofotomapa disponível *on-line* através do *software* ArcGIS 10.0].

O projecto EVOA situa-se dentro dos limites da Reserva Natural do Estuário do Tejo, mais exactamente nas lezírias da Ponta da Erva. Possui uma área total aproximada de 0,7 km<sup>2</sup> onde integra um centro de interpretação e três zonas húmidas (lagoas de água doce), com um posto de observação de aves em cada uma. O projecto resulta da uma proposta da Aquaves<sup>24</sup> à Companhia das Lezírias, S.A., sendo apoiada financeiramente pela Brisa - Autoestradas de Portugal, S.A. (EVOA, 2015). Este foi coordenado pelo atelier de arquitectura *maisrarquitectos* e concluído em 2012.

Como se pode verificar através da sobreposição do mapa de vulnerabilidade com o espaço do EVOA (Figura 4.5), a área da lezíria ficará substancialmente inundada com o novo nível do mar, no entanto, os habitats naturais de sapal terão uma taxa de crescimento superior à taxa de subida do oceano (Freitas *et al.*, 2013), tornando-os resilientes a esta condição. A utilização desta ferramenta poderia ter sido útil numa fase anterior à realização do projecto. Este poderia ser pensado e desenhado tendo em conta o factor das alterações climáticas e dessa forma evitar riscos e perdas monetárias futuras.

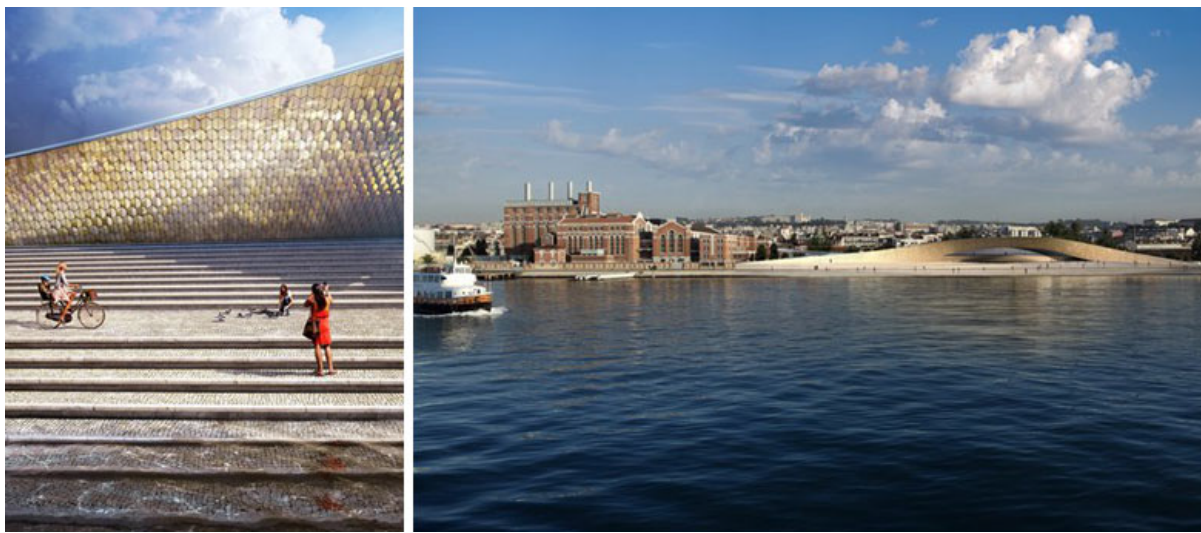


**Figura 4.5| Sobreposição do mapa de vulnerabilidade com o espaço do EVOA.** A linha tracejada amarela define a área aproximada do projecto. Neste exercício utilizaram-se as áreas de inundação permanente provenientes do cenário mais plausível.

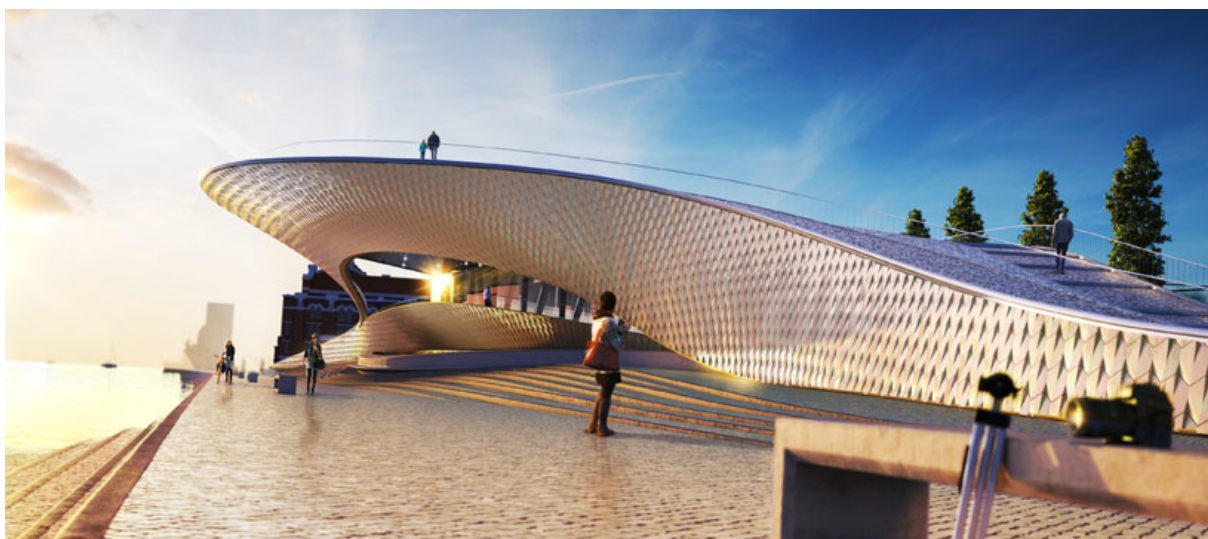
<sup>24</sup> Associação de Conservação e Gestão de Ambientes Naturais.



O Centro de Artes e Tecnologia da Fundação EDP está situado ao lado do Museu da Electricidade (Figura 4.6 e Figura 4.7) em Belém, na frente-rio do Tejo. É uma obra privada que terá um custo aproximado de 19 milhões de euros à EDP e encontra-se actualmente em construção. Este irá funcionar como centro cultural de acesso público e espaço complementar do Museu da Electricidade. Terá uma parte subterrânea e uma área total superior a 4000 m<sup>2</sup>. Pretende-se fazer deste um grande espaço publico. O projecto é da autoria da arquitecta britânica Amanda Levite (Arch2o, 2012).

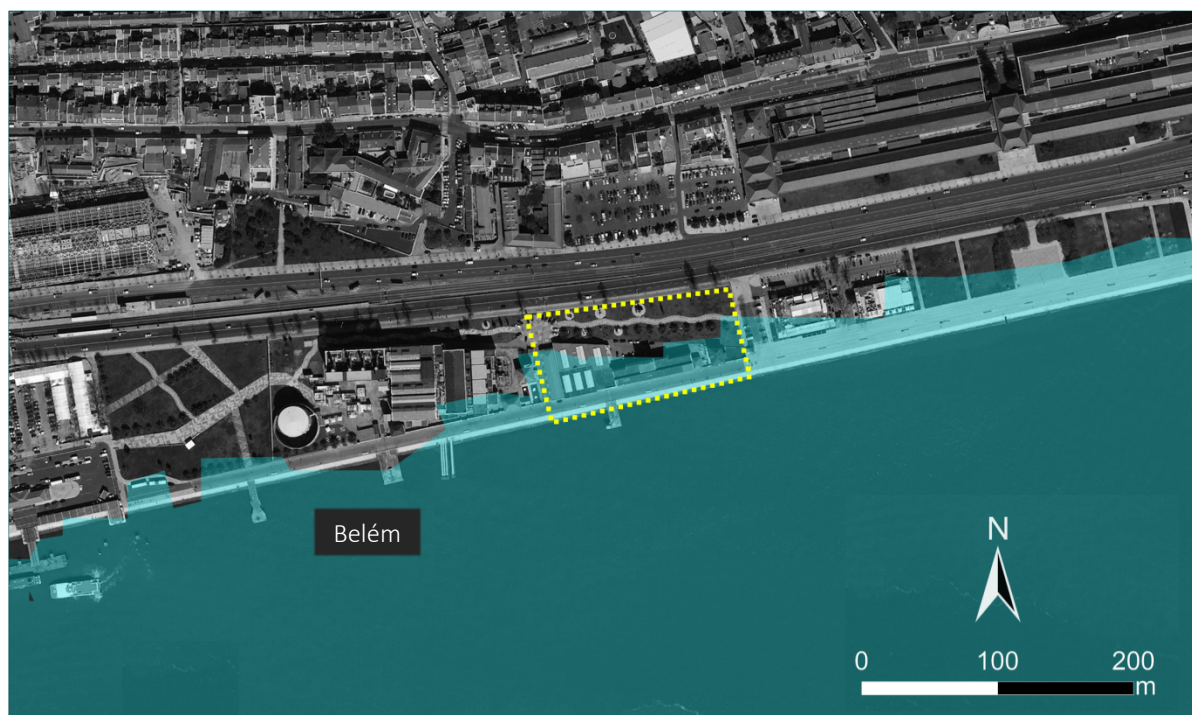


**Figura 4.6| Centro de Artes e Tecnologia da Fundação EDP.** Simulação 3D com pormenor da escadaria de aproximação pedonal ao rio (esquerda) e do enquadramento do edifício (direita). [Imagem: Amanda Levete Architects in Arch2o, 2012].



**Figura 4.7| Simulação 3D do Centro de Artes e Tecnologia da Fundação EDP.** [Imagem: Amanda Levete Architects in Arch2o, 2012].

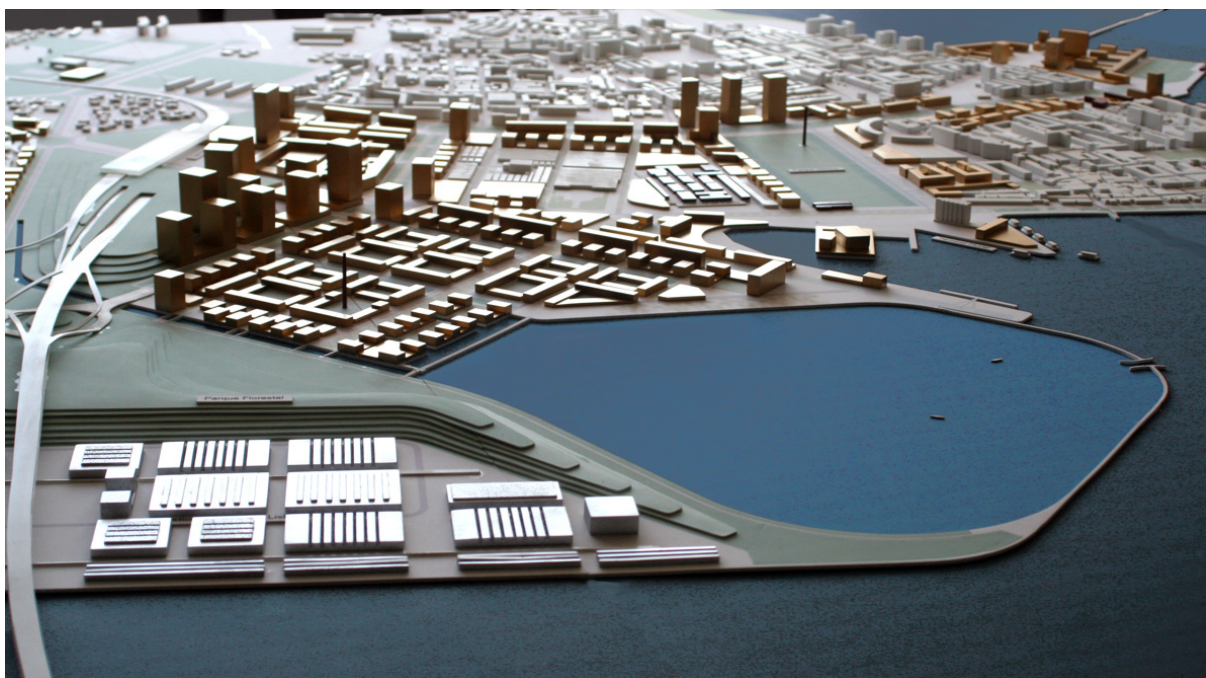
Apesar de este método ser preferencialmente usado para uma escala regional, também é possível tirar conclusões numa escala mais aproximada. Na sobreposição do mapa de vulnerabilidade com a zona do Centro de Artes e Tecnologia da Fundação EDP (Figura 4.8) verifica-se, apesar do rigor menos cuidado devido à proximidade de actuação, que a frente-rio será transposta pela água, tornando o projecto pouco viável. Uma vez que este terá ainda uma escadaria de aproximação pedonal ao rio e parte do edifício será subterrâneo o risco de inundação será ainda maior.



**Figura 4.8| Sobreposição do mapa de vulnerabilidade com o espaço do Centro de Artes e Tecnologia da Fundação EDP.** A linha tracejada amarela define a área aproximada do projecto. Neste exercício utilizaram-se as áreas de inundação permanente provenientes do cenário mais plausível.

O terceiro exemplo, encomendado pela Camara Municipal do Barreiro, foi executado por uma equipa do atelier de arquitectura e desenho urbano *RISCO* composta por Nuno Lourenço, Tomás Salgado, Nuno Salgado e Pedro Barreto e consiste no estudo prévio para o Plano de Urbanização da Quimiparque (Anexo 8, Figura 4.9 e Figura 4.10). Este detém uma área de intervenção de aproximadamente 5 km<sup>2</sup>, onde integra os terrenos do antigo complexo industrial da CUF (Companhia União Fabril) e as áreas envolventes. A proposta é concebida ponderando a inclusão da Terceira Travessia do Tejo na paisagem. A ponte da mesma, preconiza-se a manutenção e desenvolvimento da vertente industrial/logística que já existe no território prevendo para este espaço o pólo logístico do Porto de Lisboa (RISCO, 2015).





**Figura 4.9| Modelo tridimensional do Plano de Urbanização da Quimiparque.** À esquerda a terceira travessia do Tejo com o pólo logístico do Porto de Lisboa e um lago à sua direita. Em segundo plano um centro empresarial e em ultimo plano o Barreiro antigo. [Imagem: RISCO, 2015].



**Figura 4.10| Simulação 3D do Plano de Urbanização da Quimiparque.** Em primeiro plano surge o projecto de urbanização da Quimiparque e a terceira travessia do Tejo e em último plano a margem norte do estuário [Imagem: RISCO, 2015].

Como se pode verificar pela análise da figura 4.11, existe uma vasta extensão de território do plano proposto que coincide com áreas que, num futuro próximo, ficarão sujeitas a um regime de inundação permanente devido ao novo nível do mar. Nota-se, de forma clara, uma total indiferença às já comprovadas tendências climáticas actuais e impactes das mesmas no nível do mar, não existindo uma resposta às modificações impostas por um clima em transformação.



**Figura 4.11| Sobreposição do mapa de vulnerabilidade com o Plano de Urbanização da Quimiparque.** A linha tracejada amarela define os limites do projecto. Neste exercício utilizaram-se as áreas de inundação permanente provenientes do cenário mais plausível.

Esta aplicação e análise simples dos mapas de vulnerabilidade à margem do estuário revelam que a realização de uma avaliação de risco utilizando mapas de vulnerabilidade seria útil quando se projectam espaços nas zonas costeiras. Esta pode prever de forma representativa as perdas monetárias e riscos inerentes ao espaço. No entanto, o maior impacte deve-se sobretudo à natureza inconstante de eventos do nível do mar extremos, resultantes de um nível médio do mar mais elevado (Church *et al.*, 2013). A ocorrência de tempestades costeiras e agitação marítima de maior magnitude serão esperadas com maior frequência neste tipo de cenários.

# CONCLUSÕES

O sistema climático da Terra está a sofrer alterações drásticas devido às emissões de gases com efeito de estufa (GEE) resultantes de actividades humanas. Verificou-se que existe uma grande probabilidade das emissões antrópicas de GEE continuarem a aumentar nos próximos anos, maioritariamente devido à dependência da economia mundial nos combustíveis fósseis. Consequentemente também o aumento da temperatura global e restantes alterações climáticas se irão agravar ao longo do século XXI. Este aumento da temperatura global da superfície contribui em larga escala para uma subida do nível médio do mar, não só devido ao derretimento das camadas de gelo, que é acelerado, como também à expansão térmica do oceano. Sabe-se hoje que um aumento do nível do mar de pelo menos 0,50 m será inevitável nos finais do século XXI, sendo que num cenário mais pessimista mas dentro da mesma probabilidade de ocorrência, este aumento poderá ir até aos 1,5 metros. Devemos portanto ter consciência desta transformação da paisagem num futuro próximo.

Com base em modelos digitais do terreno usualmente acessíveis ao público e utilizando o *software* ArcGIS 10.0. demonstrou-se que é possível, para uma escala regional, fazer a modelação e visualização de inundações permanentes causadas pela subida do nível do mar num futuro próximo (ano de 2100). Numa avaliação regional é possível identificar as áreas mais vulneráveis na região. Esta informação pode e deve ser usada para definir uma escala de prioridades na execução de avaliações à vulnerabilidade costeira mais detalhadas em locais de importância económica, ecológica e cultural. Ainda que a metodologia aplicada tenha sido desenvolvida especificamente à escala regional, é possível dimensionar o método para domínios geográficos de maior aproximação utilizando diferentes conjuntos de dados de alta resolução e de maior detalhe. A utilização em SIG não só é capaz de armazenar e processar esses dados, como também permite ao utilizador a possibilidade de actualizar ou adicionar outras *layers* de informação, tais como o uso do solo, a geologia local ou a rede hidrográfica, permitindo assim uma melhor contextualização e cognição espacial das áreas susceptíveis à inundação.

O estuário do Tejo ocupa uma área total de aproximadamente 325 km<sup>2</sup>, sendo necessário, portanto, uma metodologia apta à escala regional. Esta paisagem acolhe nos municípios de interface com o rio cerca de ¼ da população portuguesa, sendo 60% das suas margens ocupadas por áreas



urbanas e industriais, onde também alberga o maior porto do país, tornando-se o centro de intensas actividades económicas como o tráfego marinho. O estuário revela uma enorme riqueza patrimonial. Constitui um espaço de grande importância socioeconómica que decorre desde a época da expansão marítima do renascimento, sendo prova disso os inúmeros os elementos arquitectónicos que ladeiam, maioritariamente, a margem sul do estuário, onde se destacam os moinhos de maré. Neste lugar, inseridos na Reserva Natural do Estuário do Tejo e na respectiva Zona de Protecção Especial, distinguem-se também habitats diversos como os sapais, essencial a um grande número de espécies.

Após a aplicação do método no estuário e obtenção dos mapas de vulnerabilidade, foi possível demonstrar a utilidade desta ferramenta na identificação das áreas mais vulneráveis, tornando-se assim numa informação valiosa quando utilizada no âmbito do ordenamento do território e planeamento urbano. Em relação ao impacte causado pela subida do nível do mar num futuro próximo, foi demonstrado que um aumento modesto do nível do mar (e.g. aqui 0,5 m ou 1,5 m), por si só, irá ter um impacte reduzido sobre as zonas costeiras, contudo os eventos extremos, como tempestades ou agitação marítima, ocorrerão com maior frequência e causaram danos maiores. Assim, os estudos desenvolvidos para calcular o impacte causado pela subida do nível do mar precisam de considerar estes eventos extremos e não só a alteração batimétrica. Grande parte da população, que reside maioritariamente junto às margens do estuário, assim como o património histórico-cultural e as áreas naturais protegidas encontram-se em risco devido às transformações da paisagem causadas pela inundação costeira permanente e consequentes eventos extremos. Verificou-se também que continuam a ser realizados projectos na orla estuarina que ignoram totalmente o factor da subida do nível do mar.

O presente trabalho tenta por em evidência um método que pode ser utilizado a nível de ordenamento do território e planeamento urbano, principalmente em áreas contíguas ao mar, apesar desta informação não se encontrar habitualmente disponível para servir as decisões dos responsáveis pelos riscos naturais locais. O arquitecto paisagista tem um papel bastante importante neste tipo de acontecimentos. Ocorrem tremendas transformações no ambiente, perdem-se alguns elementos mas ganham-se outros, obtendo assim uma nova paisagem onde o arquitecto paisagista terá de actuar, com base nos diferentes conhecimentos e adaptando-se à mudança.

Apesar das restrições ao nível da disponibilidade de dados geográficos de alta resolução, o método descrito consegue, através de um procedimento rápido e de baixo custo, executar uma primeira avaliação sobre o potencial risco da subida do nível do mar, delimitando as áreas mais vulneráveis da região e servindo as grandes linhas de planeamento. Este método, no entanto, não substitui a necessidade de um estudo mais detalhado para todas as áreas costeiras.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcoforado**, M.J., H. Andrade & S. Oliveira (2009). *Alterações Climáticas e Desenvolvimento Urbano*. Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Lisboa.
- Andrade**, C., H.P. Pires, P. Silva, R. Taborda & M. C. Freitas (2006). Zonas costeiras. In: *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e medidas de Adaptação* [Santos, F. D.; Miranda, P. (eds.)]. Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa: 169-208.
- Arch2o** (2012). *EDP Foundation Cultural Centre | Amanda Levete Architects*. Disponível em [www.arch2o.com/edp-foundation-cultural-centre-amanda-levete-architects/](http://www.arch2o.com/edp-foundation-cultural-centre-amanda-levete-architects/) [consultado em 24 de Março de 2015].
- Antunes**, C. (2011). *Monitoring sea level change at Cascais tide gauge*. Journal of Coastal Research 64(Special Issue): 870-874.
- Beckley**, B.D., F.G. Lemoine, S.B. Luthcke, R.D. Ray & N.P. Zelensky (2007). *A reassessment of global and regional mean sea level trends from TOPEX and Jason-1 altimetry based on revised reference frame and orbits*. Geophysical Research Letters 34(14) (Julho 28).
- Bettencourt**, A., V. Gomes, A. Dias, G. Ferreira, M.C. Silva & L. Costa (2003). *Estuários Portugueses*. Direcção dos Serviços de Planeamento, Instituto da Água, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa.
- Brown**, I. (2006). *Modelling future landscape change on coastal floodplains using a rule-based GIS*. Environmental Modelling & Software 21(10) (Outubro): 1479-1490.
- Bryan**, B., N. Harvey, T. Belperio & B. Bourman (2001). *Distributed process modeling for regional assessment of coastal vulnerability to sea-level rise*. Environmental Modeling & Assessment 6(1): 57-65.
- Butler**, J.H. & S.A. Montzka (2014). *The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI)*. Disponível em [www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html) [consultado em 15 de Julho de 2014].
- Castel-Branco** C., A.L. Soares, P. Arsénio, S. Mesquita, A. Mendes, C. Dória, J. Santos da Silva & R. Santiago (2011). *Método das Preferências Visuais*. in
- ArchiNews, Revista de Arquitectura, Urbanismo, Interiores e Design – Arquitectura Paisagista e Ecologia Urbana, Edição Especial.
- Cazenave**, A. (2004). *Present-day sea level change: Observations and causes*. Reviews of Geophysics 42(3).
- Charlson**, R.J., S.E. Schwartz, J.M. Hales, R.D. Cess, J.A. Coakley, JR., J.E. Hansen, D.J. Hofmann (1992). *Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols*. Science, 255 (Janeiro): 423-430.
- Chien**, P. (2000) *Endeavour maps the world in three dimensions*. GeoWorld 37 (Abril): 32 – 38
- Church**, J.A. & N.J. White (2011). *Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century*. Surveys in Geophysics 32(4)-(5) (Setembro): 585-602.
- Church**, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan (2013). *Sea Level Change*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 1137-1216.
- Corte-Real**, J., B. Qian & H. Xu (1998). *Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation*. International Journal of Climatology 18(6): 619-635.
- Costa**, J. Almeida & A. Sampaio e Melo (Coord.) (1992). *Dicionários Editora - Dicionário da Língua Portuguesa. 6ª Edição*. Porto Editora, Porto: 1763 pp.
- CRU**, Climate Research Unit (2003). University of East Anglia, UK, Global Average Temperature Change 1856 - 3003: Temperature. Disponível em [www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/](http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/) [consultado em 15 de Julho de 2014].
- CU** (23 de Maio de 2014). *2014\_rel1: Global Mean Sea Level Time Series (seasonal signals removed)*. CU Sea Level Research Group. Disponível em

- www.sealevel.colorado.edu/ [consultado em 16 de Agosto de 2014].
- Dahlman**, LuAnn (29 Maio 2011). *Climate Change: Annual Greenhouse Gas Index*. Disponível em [www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-annual-greenhouse-gas-index](http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-annual-greenhouse-gas-index) [Consultado em 13 de Julho de 2014].
- Dias**, J.A. & R. Taborda (1992). *Tidal Gauge Data in Deducing Secular Trends of Relative Sea Level and Crustal Movements in Portugal*. Journal of Coastal Research, 8 (3): 655–659
- Dias**, J.A. (2005). *Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais*. Tourism & Management Studies 1(1): p–07.
- Dias**, J.M., J.M. Valentim & M.C. Sousa (2013). *A Numerical Study of Local Variations in Tidal Regime of Tagus Estuary, Portugal*. Ed. I. Álvarez. PLoS ONE 8(12) (Dezembro 2).
- Dicionário Editora da Língua Portuguesa* 2014, Porto, Porto Editora: 1744 pp.
- DGTerritório** (2014). DGTerritório - Corine Land Cover (CLC). Direcção-Geral do Território. Disponível em: [www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/cartografia/cartografia\\_tematica/cartas\\_de\\_ocupacao\\_do\\_solo/corine\\_land\\_cover/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/cartas_de_ocupacao_do_solo/corine_land_cover/) [Consultado em 16 de Março de 2015].
- Dockerty**, T., A. Lovett, G. Sünnerberg, K. Appleton & M. Parry (2005). *Visualising the potential impacts of climate change on rural landscapes*. Computers, Environment and Urban Systems 29(3) (Maio): 297–320.
- EEA** (2011). *Safe water and healthy water services in a changing environment*. European Environment Agency Technical report No 7/2011, Denmark.
- (2012). *Climate change impacts & vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report*. EEA. European Environment Agency, Denmark: 300 pp.
- (2014). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2012 and inventory report 2014*. European Environment Agency, Denmark: 1264 pp.
- EVOA** (2015). *O EVOA*. Disponível em [www.evoa.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=172&Itemid=489&lang=PT](http://www.evoa.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=172&Itemid=489&lang=PT). [Consultado em 24 de Março de 2015].
- FAUL** (2013). *Professor João Pedro Costa Defende Que Urbanismo Tem de Passar a Contemplar Efeitos de Alterações Climáticas*. Disponível em [http://www.faulisboa.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2316%3Aprofessor-da-fa-defende-que-urbanismo-tem-de-passar-a-contemplar-efeitos-de-](http://www.faulisboa.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=2316%3Aprofessor-da-fa-defende-que-urbanismo-tem-de-passar-a-contemplar-efeitos-de-alteracoes-climaticas&catid=212%3Apress-release&Itemid=380&lang=pt)
- [alteracoes-climaticas&catid=212%3Apress-release&Itemid=380&lang=pt](http://www.faulisboa.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=2316%3Aprofessor-da-fa-defende-que-urbanismo-tem-de-passar-a-contemplar-efeitos-de-alteracoes-climaticas&catid=212%3Apress-release&Itemid=380&lang=pt) [Consultado em 13 de Março de 2015].
- ESRI** (2012). ArcGIS 10.0 Environmental Systems Research Institute, Redlands, California.
- Fenoglio-Marc**, L. & E. Tel (2010). *Coastal and global sea level change*. Journal of Geodynamics 49(3)–(4) (Abril): 151–160.
- Fernandes**, A. & M. Pinto (2013). *A diversidade de Embarcações Tradicionais do Estuário do Tejo*. Folha Informativa nº 7-2013. Instituto Politécnico de Santarém. Ano 6 (232).
- Freire**, P., R. Taborda & C. Andrade (2006). *Caracterização das praias estuarinas do Tejo*. 8º Congresso da Água, Figueira da Foz, 13 a 17 de Março de 2006. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Freire**, P., A. Rilo, R. Ceia, R. Nogueira Mendes, J. Catalão, R. Taborda & R. Melo (2012). *Tipificação das zonas marginais estuarinas. O caso do estuário do Tejo*. Actas das 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica: 319–322.
- Freitas**, M.C., C. Andrade, T. Silva & P. Freire (2013). *Evolução morfológica dos sapais do estuário do Tejo face à subida do nível médio do mar*. MorFeed, Seminário de divulgação, Lisboa, LNEC, 30 de Setembro de 2013.
- Frutuoso**, G. (1924). *Saudades da Terra*. Livro IV, Vol. I, Ponta Delgada, Tip. do Diário dos Açores.
- Gomes**, F.V., A. Barroco, A.R. Pereira, C.S. Reis, H. Calado, J.G. Ferreira, M.C. Freitas & M. Biscoito (2007). *GIZC. Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional*. Ministério do ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. 1ª edição, Gráfica Maiadouro.
- Gorokhovich**, Y. & A. Voustianiouk (2006). *Accuracy assessment of the processed SRTM-based elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristics*. Remote Sensing of Environment 104 (Maio) 409 – 415
- Guerreiro**, M., A.B. Fortunato, P. Freire, A. Rilo, R. Taborda & M. da Conceição (2013). *Impacte da subida do nível médio do mar na inundação marginal no estuário do Tejo*. In: 11o Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa e VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Disponível em [http://www.lnec.pt/organization/organizacao/dha/nec/estudos\\_id/morfeed/pdfs/Guerreiro\\_et\\_al\\_2013.pdf](http://www.lnec.pt/organization/organizacao/dha/nec/estudos_id/morfeed/pdfs/Guerreiro_et_al_2013.pdf) [consultado em 26 de Agosto de 2014].

- Guerreiro, M., A.B. Fortunato, P. Freire, A. Rilo, R. Taborda, M.C. Freitas, C. Andrade & T. Silva (2012).** *Consequências da subida do nível médio do mar na hidrodinâmica do estuário do Tejo*. Actas das 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica: 341–344.
- Hammersley, J.M. & D.C. Handscomb (1964).** *Monte Carlo Methods*. London; New York: Methuen; Wiley: 188 pp.
- Hansen, J. (2014).** *Climate and Energy: Fundamental Facts, Responsibilities and Opportunities*. Disponível em [www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2014/20140313\\_SenateTestimony.pdf](http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2014/20140313_SenateTestimony.pdf) [consultado em 14 de Julho de 2014].
- Hansen, J., M. Sato, G. Russell & P. Kharecha (2013).** *Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide*. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 371(2001) (Setembro): 20120294–20120294.
- Hansen, J., M. Sato & R. Ruedy (1997).** *Radiative forcing and climate response*. Journal Of Geophysical Research D6(102) (Março): 6831–6864.
- Hansen, J., M. Sato, P. Kharecha & K. von Schuckmann (2011).** *Earth's energy imbalance and implications*. Atmospheric Chemistry and Physics 11(24) (Dezembro): 13421–13449.
- Hellmer, H.H., F. Kauker, R. Timmermann, J. Determann & J. Rae (2012).** *Twenty-first-century warming of a large Antarctic ice-shelf cavity by a redirected coastal current*. Nature 485(7397) (Maio): 225–228.
- Hennecke, W.G., C.A. Greve, P.J. Cowell & B.G. Thom (2004).** *GIS-Based Coastal Behavior Modeling and Simulation of Potential Land and Property Loss: Implications of Sea-Level Rise at Collaroy/Narrabeen Beach, Sydney (Australia)*. Coastal Management 32(4) (Outubro): 449–470.
- Herring, David (5 Março 2012).** *Climate Change: Global Temperature Projections*. Disponível em [www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature-projections](http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature-projections) [Consultado em 13 de Julho de 2014].
- Hofmann, D.J., J.H. Butler, E.J. Dlugokencky, J.W. Elkins, K. Masarie, S.A. Montzka & P. Tans (2006).** *The role of carbon dioxide in climate forcing from 1979 to 2004: introduction of the Annual Greenhouse Gas Index*. Tellus B 58(5) (Novembro): 614–619.
- Hurrell, J.W. (1995).** *Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation*. Science, New Series 269 (5224) (Agosto): 676–679.
- Hurrell, J.W. & H. Van Loon (1997).** *Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation*. In: *Climatic Change at High Elevation Sites*, Springer. Climatic Change 36: 301–326.
- ICNF (2014).** *Reserva Natural do Estuário do Tejo*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Disponível em: [www.icnf.pt/portal/ap/r-nat/rnet](http://www.icnf.pt/portal/ap/r-nat/rnet). [Consultado em 16 de Novembro de 2014].
- Instituto Hidrográfico (2015).** Marés. Instituto Hidrográfico. Disponível em [www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php](http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php). [Consultado em 13 de Março de 2015].
- IPCC (2013a).** Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 1447-1466.
- (2013b). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 1535 pp.
- (2013c). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 3-32.
- IPMA (2014).** *Área educativa - CLIMA DE PORTUGAL CONTINENTAL* (Instituto Português do Mar e da Atmosfera). Disponível em [www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=clima.pt.xml](http://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=clima.pt.xml) [consultado em 7 de Agosto de 2014].
- Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson & E. Guevara (2008).** *Hole-filled seamless SRTM data V4*. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). Disponível em [www.srtm.csi.cgiar.org](http://www.srtm.csi.cgiar.org). [Consultado em 02 de Setembro de 2014].
- Jevrejeva, S., J. C. Moore & A. Grinsted (2010).** *How Will Sea Level Respond to Changes in Natural and Anthropogenic Forcings by 2100?: SEA LEVEL RESPONSE TO FORCINGS BY 2100*. Geophysical Research Letters 37, no. 7.

- (2012). *Sea Level Projections to AD2500 with a New Generation of Climate Change Scenarios*. Global and Planetary Change 80–81 (January): 14–20.
- Keeling**, C.D. (1960). *The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere*. Tellus 12(2): 200–203.
- Kennedy**, Caitlyn (30 Agosto 2009). *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. Disponível em [www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide](http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide) [Consultado em 13 de Julho de 2014].
- Klein Tank**, A.M.G., J.B. Wijngaard, G.P. Können, R. Böhm, G. Demarée, A. Gocheva, M. Mileta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, R. Heino, P. Bessemoulin, G. Müller-Westermeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Pálsdóttir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, et al. (2002). *Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment*. International Journal of Climatology 22(12) (Outubro): 1441–1453.
- Kuhn**, M., D. Tuladhar & R. Corner (2011). *Visualising the spatial extent of predicted coastal zone inundation due to sea level rise in south-west Western Australia*. Ocean & Coastal Management 54(11) (Novembro): 796–806.
- Lambeck**, K., M. Anzidei, F. Antonioli, A. Benini & A. Esposito (2004). *Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change*. Earth and Planetary Science Letters 224(3)–(4) (Agosto): 563–575.
- Li**, X., R.J. Rowley, J.C. Kostelnick, D. Braaten, J. Meisel & K. Hulbutta (2009). *GIS analysis of global impacts from sea level rise*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 75(7): 807–818.
- Lichter**, M. & D. Felsenstein (2012). *Assessing the costs of sea-level rise and extreme flooding at the local level: A GIS-based approach*. Ocean & Coastal Management 59 (Abril): 47–62.
- Lombard**, A., A. Cazenave, P. Letraon & M. Ishii (2005). *Contribution of thermal expansion to present-day sea-level change revisited*. Global and Planetary Change 47(1) (Maio): 1–16.
- MAOTDR/INAG** (2006). *Execução da Recomendação sobre Gestão Integrada da Zona Costeira em Portugal*. Ministérios Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional e Instituto da Água, Relatório Nacional Preliminar da Execução da Recomendação 2002/413/CE, Lisboa, Portugal.
- Martinho**, M.M.R. (2009). *Variabilidade Climática e a Produtividade Vitivinícola de Trás-os-Montes*. Tese de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- Meyssignac**, B. & A. Cazenave (2012). *Sea level: A review of present-day and recent-past changes and variability*. Journal of Geodynamics 58 (Julho): 96–109.
- Miranda**, P., M. A. Valente, A. Tomé, R. Trigo, M. F. Coelho, A. Aguiar & E. Azevedo (2006). O Clima de Portugal nos Séculos XX e XXI. In: *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e medidas de Adaptação* [Santos, F. D., Miranda, P. (eds.)]. Projecto SIAM II. Gradiva, Lisboa: 45-114.
- Montzka**, S.A., E.J. Dlugokencky & J.H. Butler (2011). *Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases and climate change*. Nature 476(7358) (Agosto): 43–50.
- Murphy**, D.M., S. Solomon, R.W. Portmann, K.H. Rosenlof, P.M. Forster & T. Wong (2009). *An observationally based energy balance for the Earth since 1950*. Journal of Geophysical Research 114(D17) (Setembro).
- Nabais**, A. J. (1986). *Moinhos de Maré – Património Industrial*. Coleção História do Concelho do Seixal. Nº 4. Camara Municipal do Seixal.
- (2009). *Barcos do Tejo*. In AÇAFA On-line (nº2). Vila Velha de Ródão. Associação de Estudos do Alto Tejo.
- National Research Council** (2010). *Forging the Future of Space Science: The Next 50 Years*. Washington, DC: The National Academies Press: 166 pp.
- Neumann**, J.E., D.E. Hudgens, J. Herter & J. Martinich (2010). *Assessing Sea-Level Rise Impacts: A GIS-Based Framework and Application to Coastal New Jersey*. Coastal Management 38(4) (Julho 23): 433–455.
- Nicholls**, R.J. (2002). *Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding*. Physics and Chemistry of the Earth. 27: 1455–1446.
- Nicholls**, R.J. & A. Cazenave (2010). *Sea-level rise and its impact on coastal zones*. science 328(5985): 1517–1520.
- NOAA** (Junho 2011). *New Mapping Tool and Techniques For Visualizing Sea Level Rise And Coastal Flooding Impacts*. In: *Proceedings of the 2011 Solutions to Coastal Disasters Conference*. American Society of Civil Engineers (ASCE): 20 pp.
- (Julho 2014). US Department of Commerce. *Global Climate Change Indicators*. Disponível em [www.ncdc.noaa.gov/indicators/](http://www.ncdc.noaa.gov/indicators/) [consultado em 15 de Julho de 2014].
- (2014). US Department of Commerce. *ESRL Integrating Research and Technology Theme: Carbon*

- Cycle Science*. Disponível em [www.esrl.noaa.gov/research/themes/carbon/](http://www.esrl.noaa.gov/research/themes/carbon/) [consultado em 13 de Julho de 2014].
- OECD/IEA (2014). *World Energy Outlook 2014: Executive Summary*. International Energy Agency. IEA publications, Paris, França: 12 pp.
- Oliveira, R. & L.V. Cunha (coordenação) (2010). *Estratégia Nacional de Adaptação aos Impactos das Alterações Climáticas relacionados com os Recursos Hídricos*. Definição de Linhas de Orientação, versão de trabalho de outubro de 2010
- Oliveira, D.F.R. (2013). *O risco de inundação urbana nas frentes de água de deltas e estuários em cenários de alterações climáticas. A frente ribeirinha de Lisboa*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Oswald, M.R. & C. Treat (2013). *Identifying Sea Level Rise Vulnerability using GIS: Development of a Transit Inundation Modeling Method*. International Journal of Geoinformatics 9(1) (Março): 1–10
- Pereira, C. & C. Coelho (2013). *Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar*. Revista de Gestão Costeira Integrada 13(1) (Março): 27–43.
- Peters, G.P., R.M. Andrew, T. Boden, J.G. Canadell, P. Ciais, C. Le Quéré, G. Marland, M.R. Raupach & C. Wilson (2013). *The challenge to keep global warming below 2°C*. Nature Climate Change 3(1): 4–6.
- Philander, S.G.H. (1990). *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*. Academic Press, San Diego, CA: 289 pp.
- Pinto, M. (2008). *Os Estaleiros Tradicionais do Estuário do Tejo – Oportunidade em contexto de mudança*. II Seminário Internacional de Náutica de Recreio e Desenvolvimento Local. Disponível em [www.cm-seixal.pt/NR/rdonlyres/15B50C64-0E78-44A4-8432-34C7969D6042/2946/Mario\\_Pinto.pdf](http://www.cm-seixal.pt/NR/rdonlyres/15B50C64-0E78-44A4-8432-34C7969D6042/2946/Mario_Pinto.pdf). [Consultado em 02 de Novembro de 2014].
- ARHT (2009). *O plano de ordenamento do estuário do Tejo: saberes e reflexões*. Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I. P., Gabinete de Ordenamento do Território, 1ª edição, Lisboa: 167 pp.
- Prandi, P., A. Cazenave & M. Becker (2009). *Is coastal mean sea level rising faster than the global mean? A comparison between tide gauges and satellite altimetry over 1993–2007*. Geophysical Research Letters 36(5) (Março 6)
- Purvis, M.J., P.D. Bates & C.M. Hayes (2008). *A probabilistic methodology to estimate future coastal flood risk due to sea level rise*. Coastal Engineering 55(12) (Dezembro): 1062–1073.
- Rabus, B.; M. Eineder, R. Roth & R. Bamler (2003). *The Shuttle Radar Topography Mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 57: 241–262.
- Ramos, C. (2007). *Cheias e Inundações: factores desencadeantes e agravantes e medidas mitigadoras*. 2º Ciclo de Debates à Volta do Ambiente, Cheias – os seus ciclos e prevenção, Loures.
- Rhein, M., S.R. Rintoul, S. Aoki, E. Campos, D. Chambers, R.A. Feely, S. Gulev, G.C. Johnson, S.A. Josey, A. Kostianoy, C. Mauritzen, D. Roemmich, L.D. Talley and F. Wang (2013). *Observations: Ocean*, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 255–316.
- Ribeiro, A., M. Antunes, M. Ferreira, R. Rocha, A. Soares, G. Zbyszewski, F. Almeida, D. Carvalho & J. Monteiro (1979). *Introduction a la Geologie Générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- Rilo, A., A. Fortunato, P. Freire, K. Li, & A. Tavares (2014). *Suscetibilidade À Inundação de Margens Estuarinas. Aplicação À Baía Do Seixal (estuário Do Tejo, Portugal)*. Actas das 3as Jornadas de Engenharia Hidrográfica: 317–320.
- RISCO (2015). *Plano de Urbanização da Quimiparque / Barreiro XXI*. Disponível em [www.risco.org/pt/02\\_03\\_quimiparque.jsp#](http://www.risco.org/pt/02_03_quimiparque.jsp#) [consultado em 25 de Março de 2015].
- Rolim, G. de S., M.B.P. de Camargo, D.G. Lania & J.F.L. de Moraes (2007). *Climatic classification of Köppen and Thornthwaite systems and their applicability in the determination of agroclimatic zoning for the state of São Paulo, Brazil*. Bragantia 66(4): 711–720.
- Sagan, C., A. Druyan, S. Soter (writers) & B. Braga, A. Druyan, B. Pope (Directors) (2014). *The World Set Free* [Episódio de documentário] *Cosmos: A SpaceTime Odyssey*. L. Hanich & S. Holtzman (Producers). Estados Unidos: Cosmos Studios, Fuzzy Door Productions.
- Santos, F. D., K. Forbes & R. Moita (2002). *Sumário Executivo e Conclusões*. In: *Mudança Climática em Portugal. Cenários, Impactes e medidas de Adaptação*. [Santos, F. D.; K. Forbes & R. Moita (eds.)]. Projecto SIAM. Gradiva, Lisboa.
- Santos, M. E. (2001). *Moinhos de maré – Património industrial*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de

- Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.
- Santos, F. D.** (2006). Problemática das Alterações Climáticas no Início do Século XXI, in: *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e medidas de Adaptação* [Santos, F. D., Miranda, P. (eds.)]. Projecto SIAM II. Gradiva, Lisboa: 17-44.
- Santos, F. D. & P. Miranda** (eds) (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e medidas de Adaptação*. Projeto SIAM II, Gradiva, Lisboa.
- Schmidt, L., F.D. Santos, P. Prista, T. Saraiva, C. Gomes** (2012). *Alterações climáticas, sociais e políticas em Portugal: processos de governança num litoral em risco*. Ambiente & Sociedade, 15 (1): 23–40.
- Shepherd, A., E.R. Ivins, G. A, V.R. Barletta, M.J. Bentley, S. Bettadpur, K.H. Briggs, D.H. Bromwich, R. Forsberg, N. Galin, M. Horwath, S. Jacobs, I. Joughin, M.A. King, J.T.M. Lenaerts, J. Li, S.R.M. Ligtenberg, A. Luckman, S.B. Luthcke, M. McMillan, et al.** (2012). *A Reconciled Estimate of Ice-Sheet Mass Balance*. Science 338(6111) (Novembro 30): 1183–1189.
- Silva, T.** (2013). *Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Smith, B. & D. Sandwell** (2003). Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data. IGPP, Scripps Institution of Oceanography, USA. Geophysical Research Letters 30(9) (Maio): 4 pp.
- Soares, N.P. & A.C.G. Domingues** (2003). População: consolidação e maturidade demográfica de uma área metropolitana. In: *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa* [Tenedório, J.A. (eds.)]. Área Metropolitana de Lisboa, Lisboa: 119-145.
- Trenberth, K.E., J.T. Fasullo & J. Kiehl** (2009). *Earth's Global Energy Budget*. Bulletin of the American Meteorological Society 90(3) (Março): 311–323.
- Trigo, R.M., T.J. Osborn, J.M. Corte-Real** (2002). *The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms*. Climate Research 20(1): 9–17.
- (2002b). *Influência da Oscilação do Atlântico Norte no Clima do Continente Europeu e no Caudal dos Rios Ibéricos Atlânticos*. Finisterra 73: 5–31.
- UNEP** (2014). *UNEP Year Book 2014: emerging issues in our global environment*. UNEP Division of Early Warning and Assessment. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya: 71 pp.
- UNEP/UNFCCC** (2002). *Climate Change Information Kit*. Edited by Michael Williams. United Nations Environmental Programme's Information Unit for Conventions, Geneva: 64 pp.
- UNNS** (2015). *Ban Ki-moon's speeches - Remarks at the Climate Summit Press Conference (including Comments on Syria)*. Secretary-General Ban Ki-moon, UN Headquarters, 23 September 2014, UN News Service Section. Disponível em [http://www.un.org/apps/news/infocus/speeches/statments\\_full.asp?statID=2356#.VOTOECxcr3d](http://www.un.org/apps/news/infocus/speeches/statments_full.asp?statID=2356#.VOTOECxcr3d). [Consultado em 02 de Janeiro de 2015].
- USGS** (2014). *EarthExplorer*. United States Geological Survey Disponível em: [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov). [Consultado em 08 de Maio de 2014].
- Valentim, J.M., N. Vaz, H. Silva, B. Duarte, I. Caçador & J.M. Dias** (2013). *Tagus estuary and Ria de Aveiro salt marsh dynamics and the impact of sea level rise*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 130 (Abril): 138-151.
- Vargas, C.I.C., F.D. Santos, G. Penha-Lopes, P. Cardoso, T. Lourenço, L. Schmidt & C. Gomes** (2012). *Avaliação e Comunicação de Susceptibilidade Costeira em Cenários de Alterações Climáticas: Dois Casos de Estudo na Costa Portuguesa*. I Congresso Iberoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales 2012.
- Velicogna, I.** (2009). *Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by GRACE*. Geophysical Research Letters 36(19) (Outubro 13).
- Ventura, A.G.** (2007). *A "Banda D'Além" e a cidade de Lisboa durante o antigo regime: Uma perspectiva de história económica regional comparada*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Vermeer, Martin & Stefan Rahmstorf** (2009). *Global Sea Level Linked to Global Temperature*. Proceedings of the National Academy of Sciences 106, no. 51: 21527–32.
- World Bank** (2012). *Turn Down the Heat: Why a 4°C Warmer World Must Be Avoided*. A report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. World Bank, Washington, DC.
- Zêzere, J.L.** (2010). Cheias e inundações, in *Diagnostico Sectorial de Riscos e Protecção Civil*. PROT-AML. 31pp.
- Zhang, X., X.L. Wang & J. Corte-Real** (1997). *On the relationships between daily circulation patterns and precipitation in Portugal*. Journal Of Geophysical Research, Vol. 102, (D12): 13 pp.

## ÍNDICE

Anexo 1	Alterações climáticas e impactes observados em várias partes do planeta.	88
Anexo 2	Alterações climáticas e impactes observados na Europa.	89
Anexo 3	Alterações climáticas e impactes globais esperados durante o século XXI.	90
Anexo 4	Tipificação da ocupação antrópica na orla estuarina.	92
Anexo 5	Mapa de vulnerabilidade – Cenário I	93
Anexo 6	Mapa de vulnerabilidade – Cenário II	94
Anexo 7	Mapa de vulnerabilidade – Cenário III	95
Anexo 8	Plano de Urbanização da Quimiparque.	96
Anexo 9	Susceptibilidade de inundações por cheia na AML	97



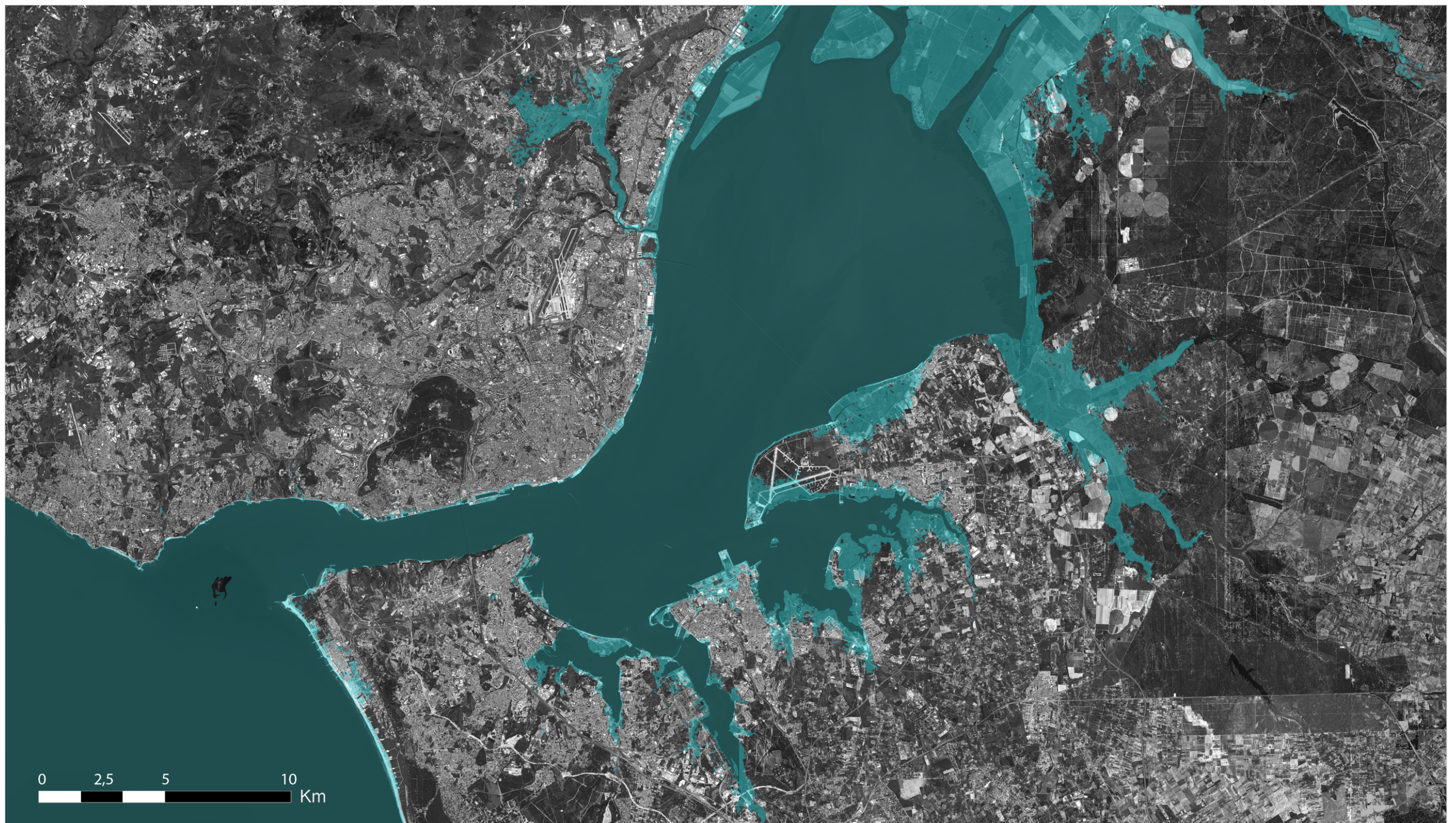
## ANEXO 4



Tipificação da ocupação antrópica na orla estuarina. [Fonte: Adaptado de Freire et al., 2012].



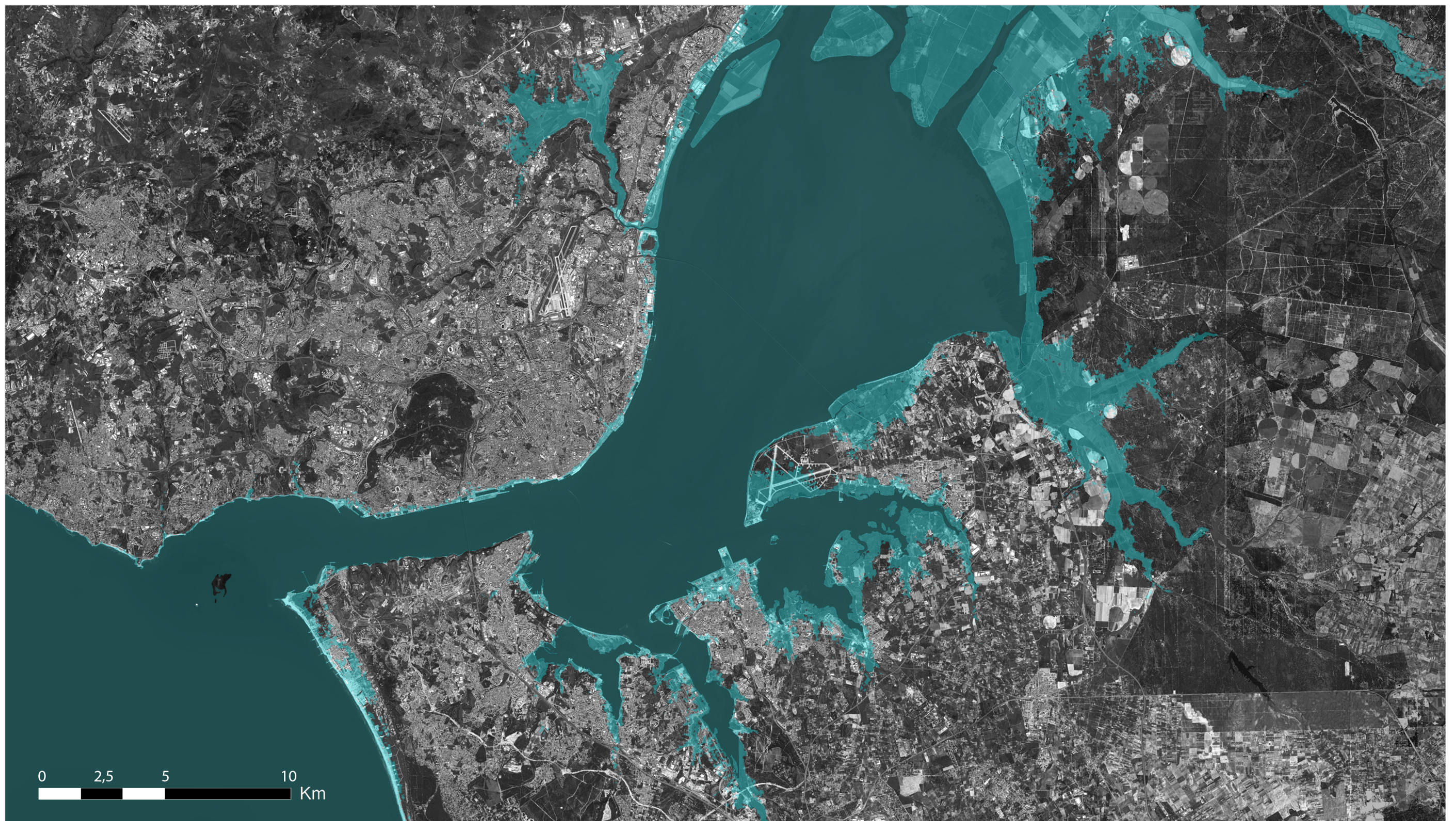
## ANEXO 5



Mapa de vulnerabilidade – Cenário I. Novo nível médio do mar com uma subida de 5,00 m. A área a azul-claro representa a superfície terrestre que fica submersa. Base: ortofotomapa disponível on-line através do software ArcGIS 10.0.



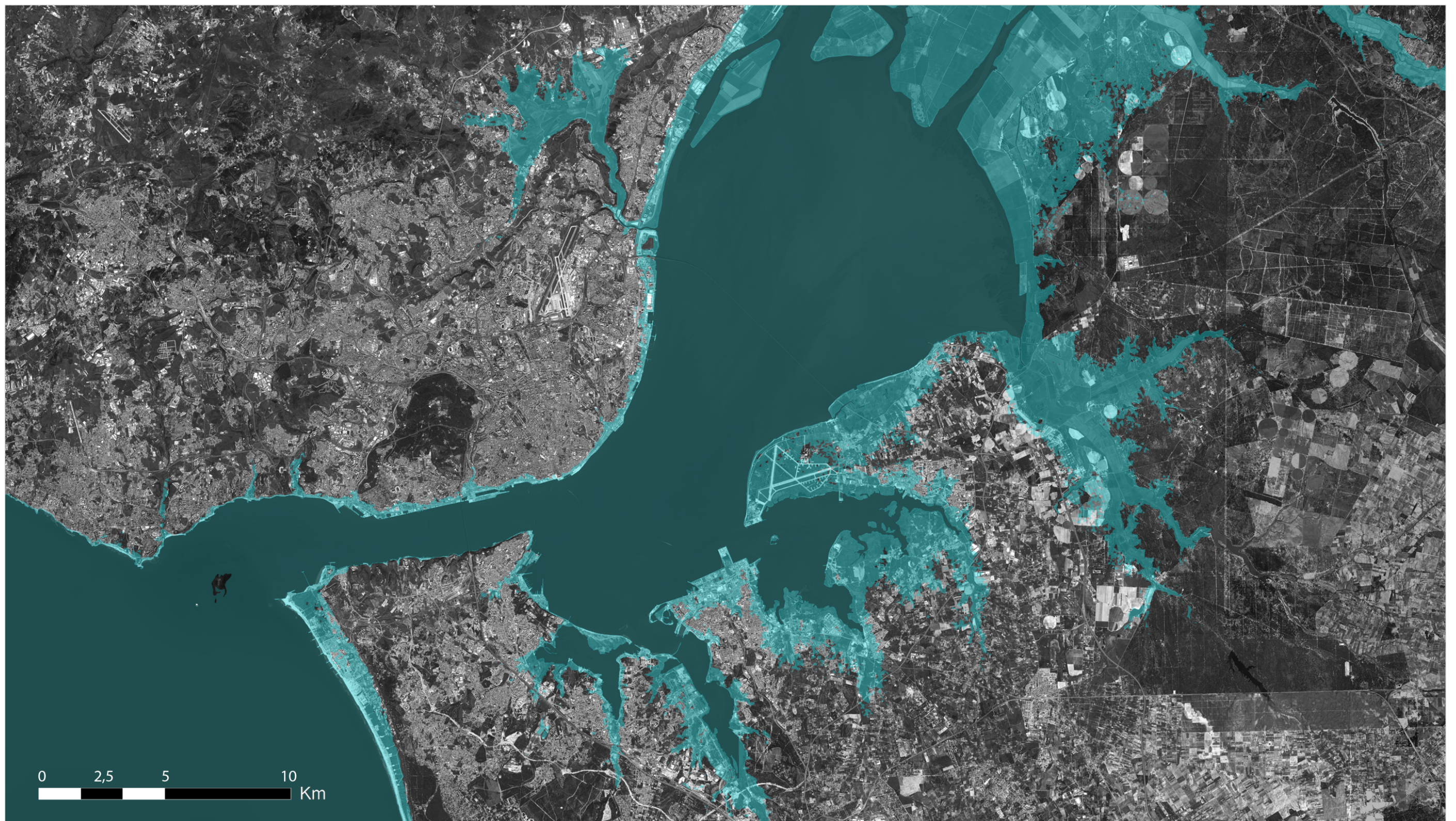
## ANEXO 6



Mapa de vulnerabilidade — Cenário II. Novo nível médio do mar com uma subida de 6,80 m. A área a azul-claro representa a superfície terrestre que fica submersa. Base: ortofotomapa disponível on-line através do software ArcGIS 10.0-



## ANEXO 7



Mapa de vulnerabilidade – Cenário III. Novo nível médio do mar com uma subida de 11,80 m. A área a azul-claro representa a superfície terrestre que fica submersa. Base: ortofotomapa disponível on-line através do software ArcGIS 10.0.



# ANEXO 8

## Legenda

- Espaços verdes existentes
- Espaços verdes propostos em domínio público
- Espaços verdes propostos no interior de parcelas

## EXISTENTE

- 1. Alburrica
- 2. Passeio Augusto Cabrita
- 3. Parque Catarina Eufémia
- 4. Hospital Nossa Sra. Do Rosário
- 5. Complexo Desportivo Fabril
- 6. Parque José Afonso

## PROPOSTO

- A. Parque Urbano
- B. Corredor Urbano
- C. Avenida da Ponte
- D. Passeio Diagonal
- E. Jardim do Lago
- F. Lago
- G. Parque Florestal
- H. Pólo Logístico do Porto de Lisboa
- I. Acesso à Ponte
- J. Gare do Sul
- K. Praça da Gare
- L. Terminal Fluvial
- M. Centro Empresarial



Plano de Urbanização da Quimiparque. [Imagem: RISCO, 2015].

# ANEXO 9

## Cheias e inundações<sup>1</sup>

As cheias são fenómenos naturais extremos e temporários, quase sempre provocados por precipitações excessivas que fazem aumentar o caudal dos cursos de água, originando o transbordo do leito ordinário e a inundação das margens e áreas circunvizinhas, que se encontram frequentemente ocupadas por actividades humanas.

Na AML, as cheias podem ser desencadeadas por: (i) períodos chuvosos que se prolongam por várias semanas, diminuindo drasticamente o efeito regularizador das barragens, que podem potenciar picos de cheia com as respectivas descargas; (ii) episódios de precipitação muito intensa e concentrada em algumas horas.

No primeiro caso, as cheias são do tipo progressivo e verificam-se no Rio Tejo que, durante as cheias de maior magnitude, invade os fundos de vale dos seus afluentes originando o fenómeno das “cheias de jusante”. O carácter progressivo destas cheias permite accionar, em devido tempo, os sistemas de alerta, possibilitando à população salvar os seus bens e diminuir o grau de risco. A área inundável por este tipo de cheia corresponde a cerca de 12% do território da AML e as situações mais desfavoráveis observam-se em Vila Franca de Xira, Alcochete e Moita (áreas inundáveis por cheias progressivas compreendidas entre 27% e 70% dos respectivos territórios concelhios). Estas cheias originam cortes de diversas estradas nacionais e municipais, interrupção da circulação ferroviária, alagamento de campos agrícolas e isolamento de populações. A cheia do Tejo é um fenómeno conhecido das populações ribeirinhas, que desenvolveram estratégias de adaptação bem conseguidas às inundações de baixa-média magnitude.

No segundo caso, ocorrem cheias rápidas, as quais afectam pequenas bacias hidrográficas de reduzido tempo de concentração, que podem ser mortíferas, especialmente nas áreas densamente urbanizadas e com ocupação indevida dos leitos de cheia. Este tipo de cheia pode interromper períodos secos, sendo de difícil previsão e, como aparece de forma repentina, torna muito difícil o accionamento de sistemas de alerta, pelo que é particularmente importante o correcto ordenamento das áreas ribeirinhas no sentido de minimizar o grau de risco a elas associado. As cheias rápidas afectam principalmente as pequenas bacias hidrográficas da Grande Lisboa, entre os concelhos de Mafra e Vila

---

<sup>1</sup> Texto retirado na íntegra do capítulo “Cheias e inundações” do Diagnostico Sectorial de Riscos e Protecção Civil (2010) PROT-AML, coordenação de José Luís Zêzere.



Franca de Xira (e.g., Ribeira de Pedrulhos, Rio Sabujo, Rio do Cuco, Rio Lizandro, Ribeira de Colares, Ribeira das Vinhas, Ribeira da Lage, Ribeira de Barcarena, Rio Jamor, Rio Trancão, Rio Silveira, Rio Grande da Pipa). Na Península de Setúbal destaca-se a Ribeira do Livramento, no concelho de Setúbal. Os fundos de vale inundáveis por cheia rápida representam, apenas, 1,5% da área total da AML. No entanto, em Odivelas e Loures estas áreas correspondem a mais de 10% dos respectivos territórios concelhios, enquanto em Oeiras e Mafra esse valor varia entre 3,4 e 3,8%. (Figura 1).

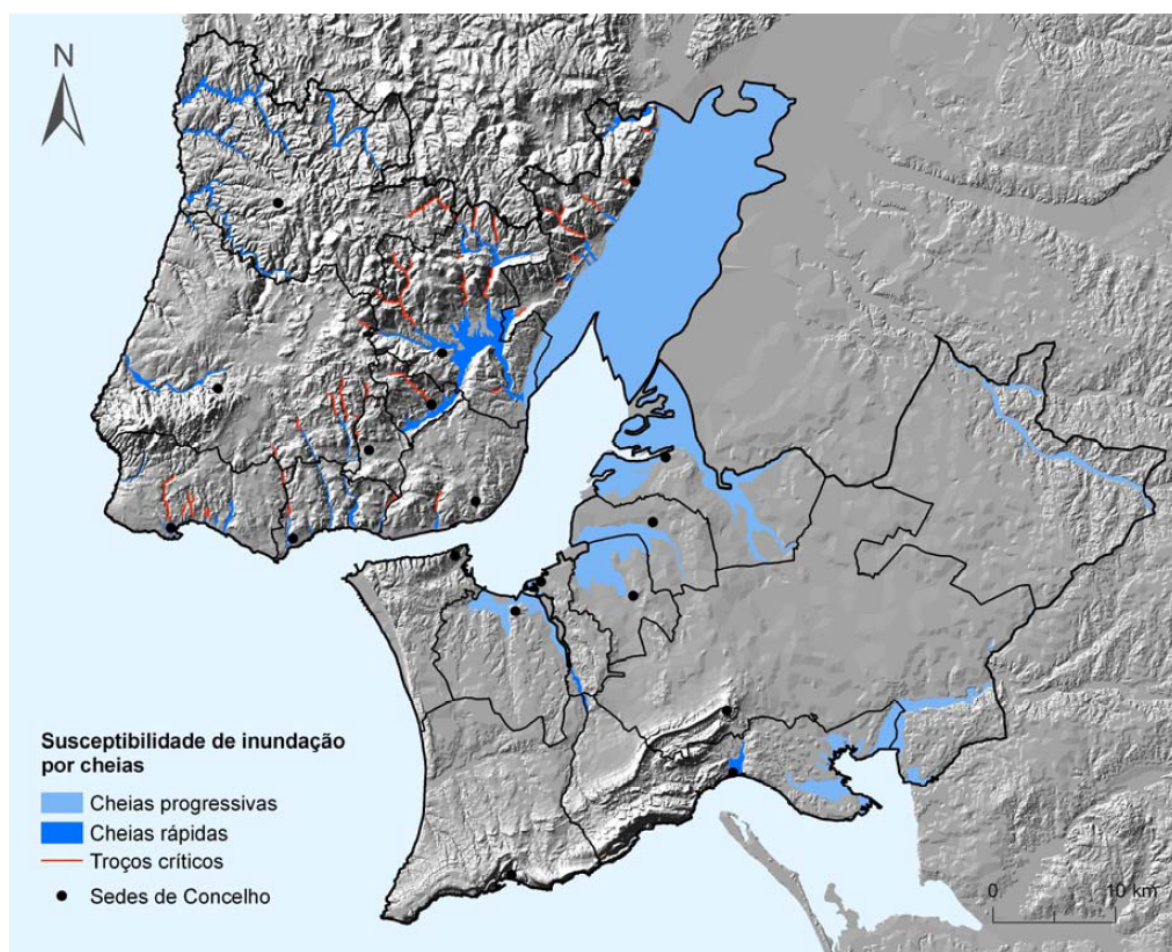


Figura 1. Susceptibilidade de inundação por cheia na AML